

Romi Schubert

Leitfaden zur Durchführung des Energiemanagements unter
Berücksichtigung von vertraglichen Anforderungen.
Sicherstellung der Transparenz des Energieverbrauchs zur
Optimierung.

eingereicht als

Bachelorarbeit

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät

Maschinenbau/ Feinwerktechnik

Ratingen, 2011

1. Betreuer: Dipl. –Ing. Peter Braum (Gegenbauer)

2. Betreuer: Prof. Dr. –Ing. Jörg Mehlis

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Schubert, Romi: Leitfaden zur Durchführung des Energiemanagement unter Berücksichtigung von vertraglichen Anforderungen. Sicherstellung der Transparenz des Energieverbrauchs zur Optimierung. – 2011- 78 S. Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2011

Referat:

Die Ausarbeitung dieses Themas soll eine Hilfestellung sein, Bestandsobjekte in Hinblick der Gesamtenergieeffizienz zu bewerten und Vergleiche zu ziehen. Die Beurteilung der Immobilien soll Aufschluss über die Kostenentstehung von Energiekosten bringen, Funktion von gebäudetechnischen Anlagen erklären und die Entscheidung von planerischen Umgestaltungen vereinfachen. Dem Leser wird ein Überblick über die Energiemarktentwicklung und Trends verschafft. Im Anschluss wird ein Beispiel des Energieanalysemodells (EAM) durchgeführt. Das Modell versucht so weit es möglich ist alle Energieströme einer Immobilie zu bewerten und für negative Energieströme entsprechende Maßnahmen zu finden. Das durchgeführte Beispiel stellt eine Immobilie mit der Nutzerkategorie „Verwaltungsgebäude mit hoher technischer Ausstattung dar. Die Modellanwendung ist in Abhängigkeit der genannten Regelwerke weitestgehend für jede Nutzungskategorie anwendbar.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Formelverzeichnis	VII
1. Einleitende Themen	1
1.1 Motivation und Themenwahl	1
1.2 Gesellschaftlicher Stellenwert der Energieeffizienz und Energiekostenentwicklung	2
1.3 Einordnung des Energiemanagements im Facility Management	4
1.4 Vertragsbestandteile, die bei FM Konzepten erfüllt werden müssen	6
1.5 Begriff Energieeffizienz	8
2. Energiebeeinflussende Faktoren des Gebäudes	10
2.1 Nutzungsbedingte Einflussfaktoren	10
2.2 Standortbedingte Einflussfaktoren	11
2.3 Einflussfaktor Betriebsprozesse	12
2.3.1 Energiecontrolling	14
2.3.2 CAFM als Unterstützung des Energiemanagements	15
2.3.3 Lastmanagement	15
2.4 Einflussfaktor Bauwerk und technische Gebäudeausrüstung	16
2.4.1 Passivhaustechnologie	18
2.4.2 Wärmepumpen	18
2.4.3 Warmluftheizung und Strahlenkonvektoren	19
2.4.4 Thermochemische- und Latentwärmespeicher	20
3. Entwicklung eines Energieanalysemodells	22
3.1 Aufstellung der Baseline	23
3.2 Energiebezugsflächenermittlung	25
3.3 Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten	28
3.4 Ermittlung der Luftwechselrate	29
3.5 Ermittlung des Nutzungsabhängigen Energiebedarfs	30
3.5.1 Energiekosten für Heizung	30
3.5.2 Energiekosten für Kälteerzeugung	34
3.5.3 Energiekosten der Lüftung	36
3.5.4 Energiekosten der Beleuchtung	36
3.5.5 Energiekosten der EDV	37
3.5.6 Energiekosten des theoretischen Wasserverbrauchs	38
3.6 Maßnahmenidentifikation	39
3.7 Wirtschaftlichkeitsbeurteilung	40
4. Praxisanwendung des Energieanalysemodells	41
4.1 Verbrauchserfassung	42

4.2 Witterungs- und Zeitkorrektur des Verbrauchs	42
4.3 Erfassung der Energiebezugsflächen.....	44
4.4 Ermittlung des Heizenergiebedarfs.....	45
4.5 Ermittlung der Elektroenergie für Kühlung und Lufttransport.....	47
4.6 Ermittlung der Energiekosten für die installierte Beleuchtung.....	48
4.7 Kosten für EDV und Bürokommunikation	50
4.8 Nutzerspezifischer Wasserverbrauch	50
4.9 Aufstellen der Kostentransparenz.....	51
4.10 Maßnahmenidentifizierung am Beispiel „Langer Eugen“	51
4.10.1 Investive Maßnahmen	51
4.10.2 Organisatorischen Maßnahmen.....	55
5. Resümee	56
6. Anlagen	58
7. Literaturverzeichnis	72

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
A	Fläche
AG	Auftraggeber
BGF	Bruttogrundfläche
BRI	Bruttorauminhalt
BWZK	Bauwerkszuordnungskatalog
bzw.	beziehungsweise
CAFM	Computer aided Facility Management
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d	Tag
d.h.	das heißt
DIN EN	Deutsche Industrie Norm, Europäische Industrienorm
DWD	Deutscher Wetterdienst
E	elektrische Energie
EAM	Energieanalysemodell
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)
EER	Energy Efficiency Ratio
EM	Energiemanagement
EnEG	Energieeinspar Gesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EVU	Energieversorgungsunternehmen
F	Faktor
fK	Faktor
FM	Facility Management
G	Gleichzeitigkeitsfaktor
GEFMA	German Facility Management Association
ggf.	gegebenenfalls
GTZ	Gradtagszahl
h	Stunde
HeizAnIV	Heizanlagenverordnung
IGM	infrastrukturelles Gebäudemanagement
IST	Ausgangslage
IT	Informationstechnologie
J	Joule
K	Kelvin

k.A.	keine Angaben
KGM	kaufmännisches Gebäudemanagement
Kh	Kelvinstunden
kWh	Kilowattstunde
L	Länge
l	Liter
LED	Light Emetting Diode
m	Meter
max.	maximal
MBO	Musterbauordnung
Mio.	Millionen
n	Luftwechselrate
n	Bezugsjahr
NF	Nettogrundfläche
NRI	Nettorauminhalt
P	Anschlusswert
Pa	Pascal
PDA	Persönlicher digitaler Assistent
Q	Wärme
q	Zins
QT	Transmissionswärme
QV	Lüftungswärmeleistung
SOLL	Zielvorgabe
t	Tonnen
t	Tage
TGA	technische Gebäudeausrüstung
TGM	technisches Gebäudemanagement
TU	Technische Universität
USD	United States Dollar
U-Wert	Umkehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
W	Watt
z	Anzahl der Betriebsstunden

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energiepreisentwicklung.....	2
Abbildung 2: Gesetzliche Grundlagen (Energiegesetze).....	3
Abbildung 3 : Immobilie als strategische Ressource oder Produktionsfaktor	3
Abbildung 4: Facility Management im drei Säulen Modell.....	5
Abbildung 5: Bereiche des Facility Managements	5
Abbildung 6: Einflussfaktoren der Energieeffizienz eines Gebäudes	9
Abbildung 7: Standortbedingten Einflussfaktoren	12
Abbildung 8: Energiecontrolling SOLL-IST-Vergleich	14
Abbildung 9: Plattenrekuparatoren Wärmetauscher	21
Abbildung 10: Energieanalysemodell	23
Abbildung 11: Maßnahmenaufstellung	39
Abbildung 12: Kostentransparenz.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: durchschnittlicher Luftwechsel nach Niedrigenergiebauweise	30
Tabelle 2: Differenzluftwechsel nach Baualtersklasse.....	30
Tabelle 3: Durchschnittliche Betriebsdauer unterschiedlicher Einrichtungen	37
Tabelle 4: durchschnittlicher Wasserverbrauch	39
Tabelle 5: Verbrauchserfassung der Medien Fernwärme, Strom, Wasser.....	42
Tabelle 6: Witterungskorrektur des Fernwärmeverbrauchs	43
Tabelle 7: Korrektur des witterungsunabhängigen Verbrauchs	43
Tabelle 8: Korrektur des witterungsunabhängigen Verbrauchs	44
Tabelle 9: Bauteilflächen	45
Tabelle 10: Ermittlung des Transmissionswärmebedarfs	45
Tabelle 11: Ermittlung des Lüftungswärmebedarf	46
Tabelle 12: Ermittlung des Heizenergiebedarf	47
Tabelle 13: Ermittlung der thermischen Energie	47
Tabelle 14: Elektroenergie der Kühlung	48
Tabelle 15: Elektroenergie für den Lufttransport.....	48
Tabelle 16: Kosten der Beleuchtung	49
Tabelle 17: Kosten für EDV und Bürokommunikation	50
Tabelle 18: Nutzerspezifischer Wasserverbrauch	50
Tabelle 19: Wärmedurchgangskoeffizienten im SOLL-Zustand.....	52
Tabelle 20: Vergleich IST- und SOLL-Zustand, jährliche Einsparungen	53
Tabelle 21: Aufstellung der Investitionskosten	53
Tabelle 22: Dynamische Amortisationsrechnung der Kältemaschinen	54
Tabelle 23: Reihenfolge der Modernisierungsmaßnahmen	55

Formelverzeichnis

Formel 1: Zeitbereinigung	24
Formel 2: Witterungsbereinigung.....	25
Formel 3: Gebäudelänge	26
Formel 4: Gesamtgebäudebreite	26
Formel 5: Bruttogrundfläche.....	26
Formel 6: Nutzfläche/Energiebezugsfläche.....	26
Formel 7: Bruttorauminhalt	27
Formel 8: Nettovolumen	27
Formel 9: Gebäudehüllfläche	27
Formel 10: Leerstandfaktor	27
Formel 11: Zuschlag für den Heizenergieverbrauch	28
Formel 12: Zuschlag für den Stromverbrauch	28
Formel 13: Mindestluftwechselrate	29
Formel 14: Luftwechselrate Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage	29
Formel 15: Gebäude ohne mechanische Lüftungsanlage	29
Formel 16: Heizlast.....	31
Formel 17: Transmissionswärmeleistung	32
Formel 18: Lüftungswärmeleistung ohne mechanische Lüftung	33
Formel 19: Lüftungswärmeleistung mit mechanischer Lüftung	33
Formel 20: Heizenergiebedarf, ggf. Brennstoffbedarf.....	34
Formel 21: Thermischen Energie der Kühlung	35
Formel 22: Arbeitszahl der Kältemaschine	35
Formel 23: Elektroenergie der Kälteerzeugung	35
Formel 24: Elektroenergie für den Lufttransport	36
Formel 25: Elektroenergie der Klimatisierung	36
Formel 26: Elektroenergie der Beleuchtung	37
Formel 27: Elektroenergie für Büro- und Kommunikationstechnik.....	38
Formel 28: spezifischer Wasserverbrauch	38
Formel 29: Abzinsungsfaktor/ Barwertfaktor der Kalkulationszinsen.....	40
Formel 30: Aufzinsungsfaktor der Energiepreissteigerung	40

1. Einleitende Themen

1.1 Motivation und Themenwahl

Da Energiemanagement in den meisten Fällen Bestandteil eines Facility Management Vertrages ist, soll diese Arbeit für Transparenz der Energieströme und als Unterstützung beim Durchführen von Maßnahmen sorgen. Die Frage, wo die Kosten entstehen, soll weitestgehend abschätzbar sein. Nicht nur die Verbrauchserfassung und Berichterstellung stellen einen bestehenden Kunden zufrieden, sondern auch die Optimierung seiner Gebäude und Liegenschaften. Dazu gehören das Erbringen von Verbesserungsvorschlägen und das Aufzeigen von Einsparpotenzialen. Dies fordert eine Untersuchung der energiebeeinflussenden Faktoren wie Nutzungsprozesse, standortbedingte Einflussfaktoren, Baukörper und technische Anlagen. Eine Abschätzung der Energiekosten soll klären, in wie weit Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt und Reaktionszeiten auf veränderte Energiewerte verkürzt werden können. Die vorliegende Arbeit soll vor allem Zielgruppen wie Bauingenieuren, Architekten, Bauherren, Entscheidungsträgern der Immobilienwirtschaft und Energieberatern eine Hilfestellung sein.¹ Mit entsprechenden Informationsquellen und geringem Zeitaufwand soll es möglich sein, z.B. in einem Energiemanagement jour fix dem Kunden entsprechende Modernisierungsmaßnahmen aufzuzeigen und diese wirtschaftlich zu beurteilen. Auch Maßnahmen in der Betriebsweise der technischen Anlagen und Vorschläge für Nutzungsverbesserungen sind Bestandteil des Untersuchungsbereiches. Im Einzelnen ergeben sich für alle beteiligte folgende Erfolgsfaktoren:

- Durchführung von Vergleichen,
- Entscheidungsfindung bei Investitionen,
- Erstellung von Wirtschaftsplänen in der Nutzungsphase,
- Aufzeigen von Einsparungen und Optimierungspotential,
- Identifikation von Kostentreibern und Schwachstellen,
- Immobilienvergleich mit Immobilien von Wettbewerbern,
- Entscheidungshilfe bei Kauf oder Anmietung von Immobilien.²

Der Forschungsbereich für diese Arbeit befasst sich mit Immobilienwirtschaftlichen Themen, Gesetzen und Richtlinien und geht dabei auf das Fachgebiet Bauingenieurwesen ein. Im Focus liegt der Schwerpunkt Facility Management mit seiner speziellen Leistung Energiemanagement.³

¹ [Junghans, Antje Einband]

² [Preuß, Norbert; Schöne, Lars-Bernhard; S. 478]

³ [Junghans, Antje; S. 6]

1.2 Gesellschaftlicher Stellenwert der Energieeffizienz und Energiekostenentwicklung

Um über den Stellenwert dieses Begriffes zu urteilen, ist es zunächst wichtig, sich mit der Preisentwicklung der vergangenen Jahre auseinander zu setzen. Es fällt auf, dass 30 Jahre nach dem ersten Weltkrieg, die Ölpreise extrem niedrig waren. Ein Grund dafür war zum Beispiel die Annahme, dass Energieressourcen unbeschränkt zur Verfügung stehen. Der Eindruck von unendlichen Ressourcen zu sprechen, beeinflusste stark die Nachfrage und damit auch die Entwicklung. Nach den Ölpreiskrisen der 70er Jahre stieg der Preis erstmalig drastisch an (1973 von 3 USD auf 1979 auf 30 USD pro barrel 159 Liter Rohöl). 1986 sank der Preis wieder auf das Niveau vor den Ölkrisen und begann erst 2000 sich zu erhöhen, auf bis zu 60 USD. Im Juli 2008 stand der Preis erstmals auf 150 USD und pendelte sich später wieder auf 100 USD ein. Die Preise sind als internationale Preise zu sehen.

Abbildung 1: Energiepreisentwicklung



Die steigenden Energiepreise sorgen dafür, dass das Interesse an einer günstigen Versorgung im privaten, industriellen und öffentlichen Bereich steigt. Durch den Kostendruck gewinnt eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Performance von Immobilien immer mehr an Bedeutung. Die Nachfrage an erneuerbaren Energien ist in den letzten Jahren erheblich gestiegen. Dies lag nicht nur an einem allgemeinen öffentlichen Interesse am umweltbewussten Handeln. Europaweit zeigte sich dies vor allem durch die Liberalisierung der Energiemärkte aber auch deutschlandweit ist die Verabschiedung zahlreicher Gesetze, Normen und Richtlinien ein wichtiger Indikator dafür.⁴ Folgende Gesetze und Verordnungen beeinträchtigen das Handeln von Nutzern und Immobilieneigentümern.

⁴ Vgl. Lehnhoff, Sebastian; S. 1-2 (Abbildung und Text)

Abbildung 2: Gesetzliche Grundlagen (Energiegesetze)



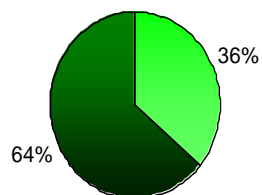
5 6
,

Unternehmen passen sich zunehmend mit Geschäftsmodellen und strategischen Planungen an den Trend „Klimawandel“ und „Ressourcenknappheit“ an. Die Immobilienwirtschaft ist von diesem Thema ebenfalls stark betroffen. Global gesehen wird dem Gebäudesektor 30 % - 40 % Energie und 15 % - 20 % Wasserressourcenverbrauch zugerechnet. Bei der gewerblichen und privaten Nutzung von Gebäuden sind 2007, 333 Mio. t CO₂ entstanden, das entspricht einem Drittel des gesamten CO₂-Ausstoßes. Dies verdeutlicht, dass eine Senkung des allgemeinen CO₂-Verbrauchs nur mit Veränderungen des Immobiliensektors umsetzbar ist. Der bisherige und auch erwartende Anstieg der Energiepreise wird die Nachfrage an energieeffizienten Gebäuden beim Anmieten und beim Kauf positiv beeinflussen. Eine Studie des Roland Berger Strategy Consultants über Nachhaltigkeit im Immobilienmanagement zeigt das Interesse an diesem Thema. Die Sichtweise, dass Immobilien als strategische Ressource und zur langfristigen Wertentwicklung dienen, wird zunehmend wahrgenommen.

Abbildung 3 : Immobilie als strategische Ressource oder Produktionsfaktor

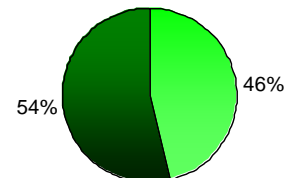
Einschätzung von Unternehmen in der Vergangenheit

■ strategische Ressource ■ Produktionsfaktor



Einschätzung von Unternehmen in der Gegenwart

■ strategische Ressource ■ Produktionsfaktor



7

⁵ Vgl. URL: <www.enev-online.de/enev/index.htm> verfügbar am 13.08.2011

⁶ Vgl. Müller, Matthias, Vortragsreihe Energiemanagement Teil 1, HTWM, 16.10.2009,

Die Vorteile von Greenbuildings liegen dabei klar auf der Hand, geringe Lebenszykluskosten, höherer Immobilienwert und bessere Vermarktbarkeit wecken das Interesse von Investoren. 70 % der befragten Bauherren, Investoren sagten bei einer Umfrage aus, dass sie für diese Art von Immobilien mehr investieren würden. Die Verfolgung nachhaltiger Ziele wird mehr und mehr vom Facility Management abgerufen. Die Erwartungen liegen hoch, Einsparpotentiale aufzudecken, auszunutzen und vorhandenes Wissen zu festigen und anzuwenden.⁸

1.3 Einordnung des Energiemanagements im Facility Management

Der Begriff Management (lateinisch „manum agere“) bedeutet etwas mit der Hand führen und die Existenz eines Gutes sicherzustellen. Das heißt Verantwortung in einem sich ständig veränderten Umfeld zu übernehmen. Der Manager macht sich über die aktuelle Situation, Ziele und die schnellst mögliche Erreichung dieser Gedanken. Im Einzelnen sind die Aufgaben eines Managers, Planung, Organisation, Führung und Kontrolle.⁹

Facility Management ist mittlerweile ein häufig verwendeter Begriff, wobei nicht jeder sich dessen Definition klar ist. Als Grund dafür ist der Dschungel an Begriffsdefinitionen zu nennen, welche sich durch verschiedene Richtlinien, Normen und Regelwerke (z.B. VDMA, FM-Norm DIN EN 15221-1 und andere) ergeben. Daraus sind unterschiedliche Definitionen und Interpretationen gewachsen.¹⁰ Die Sichtweisen und Anforderungen an die Facilities (englische Übersetzung: Anlagen) der Marktteilnehmer in diesem Bereich (Eigentümer, Betreiber, Nutzer) sorgen für unterschiedliche Wahrnehmungen. Der Eigentümer sieht die Immobilie als Investitionsobjekt und erwartet Rendite. Der Nutzer möchte, dass sein Kerngeschäft unterstützt wird, während der Betreiber die Qualität seiner Dienstleistung umsetzen möchte um daraus Gewinn zu erwirtschaften. Die GEFMA e.V. (German Facility Management Association - Deutscher Verband für Facility Management) definiert Facility Management wie folgt:

„Facility Management ist eine Managementdisziplin, die durch die ergebnisorientierte Handhabung von Facilities und Services im Rahmen geplanter, gesteuerter und beherrschter Facility Prozesse eine Befriedigung der Grundbedürfnisse von Menschen am Arbeitsplatz, Unterstützung der Unternehmenskernprozesse und Erhöhung der Kapitalrentabilität bewirkt. Hierzu dient die permanente Analyse und Optimierung der kostenrelevanten Vorgänge rund um bauliche und technische Anlagen, Einrichtungen und im Unternehmen erbrachte Dienstleistungen, die nicht zum Kerngeschäft gehören.“¹¹ Nävy erklärt den Begriff anhand eines 3 Säulen Modells. „Unter permanenter Berücksichtigung der drei Säulen „Ganzheitlichkeit, Transparenz und Lebenszyklus“ ergibt sich folgende Definition.¹²

⁷ Abbildung: [Zeitschrift: Facility Management, Ausgabe 3 Mai/ Juni 2011, S. 32-33]

⁸ Vgl.: Zeitschrift Facility Management, Ausgabe 3 Mai/Juni 2011, S. 32-33

⁹ [Weatherly, John N. S. 1-2]

¹⁰ Vgl.: Krimmling, Jörn; S. 1-2

¹¹ GEFMA 100-1 FM

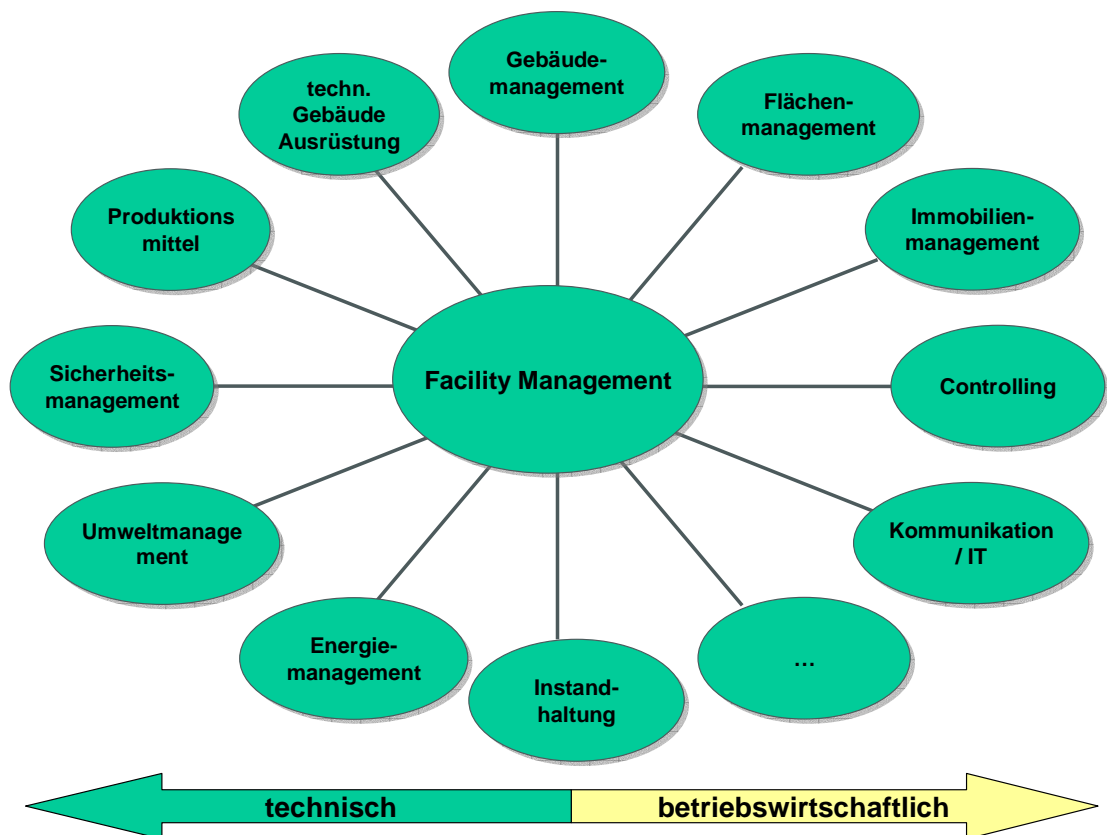
¹² Vgl. Nävy, Jens, S. 2

Abbildung 4: Facility Management im drei Säulen Modell



Die betrachteten Bereiche im FM sind in kaufmännische und technische Systemleistungen zu gliedern. Die einzelnen Abteilungen praktizieren das sprichwörtliche „über den Tellerrand schauen“ und betrachten Ressourcen immer von verschiedenen Blickwinkeln.¹³

Abbildung 5: Bereiche des Facility Managements



¹³ Vgl. Nävy, Jens S. 3

¹⁴ [Nävy, Jens; S. 4]

Ein wichtiger Bestandteil des technischen Bereiches stellt das Energiemanagement dar. Für den Bereich Energiemanagement wurde im August 2008 durch die GEFMA zwei Richtlinien veröffentlicht. „Die Aufgaben in diesem Teilbereich bestehen darin, die Kosten zur Bereitstellung der Energien in Gebäuden und Anlagen zu optimieren ohne dabei an Komfort zu verlieren. Das Gebäude und deren Anlagenverfügbarkeit sollte bei der Durchführung nicht eingeschränkt werden.“¹⁵ Genauso wie andere Disziplinen verfolgt es ökologische wie auch ökonomische Ziele. Die beschriebenen Ziele werden durch Service Level Agreement definiert. Diese dienen als Qualitätsparameter in der Umsetzung des Energiemanagements.¹⁶

Facility Management wird in allen Lebensphasen eines Gebäudes durchgeführt. Die GEFMA 100 definiert 9 Lebenszyklusphasen wobei der Untersuchungsbereich dieser Arbeit in die „Betriebs- und Nutzungsphase“ einzuordnen ist. Die sich ergebenden Modernisierungsmaßnahmen durch Überprüfung der Energieeffizienz sind in die „Umbau- oder Umnutzungsphase“ einzuordnen. Weiterhin hat dies Auswirkungen auf die zukünftige Planung und findet somit auch in dieser Phase seinen Platz.¹⁷

1.4 Vertragsbestandteile, die bei FM Konzepten erfüllt werden müssen

Unternehmen unterschiedlichster Größenordnungen profitieren von den Vorzügen Facility Management komplett Leistungen an Externe zu vergeben. Die dabei enthaltenen Vorteile des Energiemanagement, wie wirtschaftliche Führung der Anlagen und Sicherstellung der Anlagenkapazitäten, spielen eine große Rolle. Durch die Vergabe des EM können externes Wissen und Beratungsleistungen für das Unternehmen verfügbar gemacht werden. Energiemanagementverträge können tätigkeitsorientiert und/ oder ergebnisorientiert formuliert werden. Beim tätigkeitsorientierten Vertrag werden die Leistungen genau beschrieben. Beim Ergebnisorientierten Vertrag werden gewünschte Ziele direkt vereinbart. (z.B. Einsparhöhe)¹⁸

Die Definition der Einsparhöhe stellt hier eine Anforderung dar, die nicht immer umsetzbar ist. Befinden sich die Anlagen in einem Zustand, der dem neusten Stand der Technik entspricht und wurden diese auch mit dem geringsten Energieverbrauch übernommen, so sind bei korrekter Betriebsweise der Anlagen, aber inkorrekt Nutzung, nicht immer Einsparungen zu verzeichnen. Es sollten in der Formulierung des Vertrages realistische Ziele definiert werden um den Vertrag für beide Seiten fair zu gestalten.

¹⁵ [GEFMA 124]

¹⁶ Vgl. Müller, Matthias, Vortragsreihe Energiemanagement Teil 1, HTWM, 16.10.2009,

¹⁷ Junghans, Antje; S. 6

¹⁸ [GEFMA 124-3 Seite 4]

Bei der Durchleuchtung bestehender Facility Management Verträge fällt auf, dass die Gewichtung und die Ansichten in Bezug auf dieses Thema unterschiedlich sind. In einigen Verträgen (vorwiegend ältere Bestandsverträge) existiert kein Punkt bzw. eine abgeschwächte Form zu diesem Thema. In neu datierten Bestandsverträgen werden die Leistungen umfassender beschrieben und häufig auf die Regeln der GEFMA 124 verwiesen. Die folgenden Einzelziele sind in einem bestehenden Vertrag definiert wurden:

- **„Ökonomie:** Senkung der Energiekosten für eine bedarfsgerechte Energieverwendung ohne Minderung des Komforts,
- **Ökologie:** Senkung des Energieverbrauchs, Verwendung umweltschonender Energieformen,
- **Funktion:** Gewährleistung der Verfügbarkeit von Energien und Wasser am Verwendungsort.“¹⁹

Oft werden dazu bestehende Energielieferverträge einfach übernommen, doch die Praxis beweist, dass der AN sich abhängig vom Vertrag auch eigenständig darum bemühen kann, die optimale Energielieferung zu gewährleisten. Bei Fernwärmeversorgungsverträgen kann er dann als Vertragspartner mit der Zustimmung des AG eintreten ohne dass der Versorger eine Zustimmung leisten muss.²⁰ Dies hat natürlich zum Vorteil, dass schnell auf verändernde Nutzungsverhältnisse reagiert werden kann. So kann z.B. bei Veränderungen der Anlagen und Nutzungsprozessen eines Unternehmens die vertraglich vereinbarte Höhe der Energielieferung angepasst werden. Bei Außerbetriebnahme einer Produktionsstraße wird dadurch die benötigte Vorhalteleistung gesenkt. Sollte auf eine solche Gegebenheit kein Anpassungsverfahren folgen, bezahlt das Unternehmen für Leistungen, die nicht in Anspruch genommen werden.²¹

Weiterführende Vertragsbestandteile bei der Prüfung von bestehenden FM Verträgen sind den Maßnahmenplanungen zuzuordnen, bei denen der AN Wirtschaftlichkeitsberechnungen vor allem bei großen Projekten nachzuweisen hat. Zusätzlich sind Kostenschätzungen, Abschätzungen der Einsparpotenziale und Plausibilitätsprüfungen vertraglich vereinbart. Der AG fordert eine turnusmäßige Energiedatenerfassung und Auswertung in Form von regelmäßigen Zählerablesungen und Vergleichen mit in der Vergangenheit liegenden Werten. Sollten Einsparungen erzielt werden, sind diese ebenfalls nachzuweisen. Die gewonnenen Daten werden in einem periodischem Berichtswesen den AG übermittelt und werden so aufbereitet, dass außerordentlich gestiegene und reduzierte Verbrauchswerte ersichtlich sind.²² Um diesen Anforderungen Sorge zu tragen ist es wichtig, diese Prozesse durch ein funktionierendes Controlling zu betreuen. Der Überblick in Bezug auf Gebäudedaten muss gewährleistet sein und kann mit modernen Arbeitsmitteln und motivierten Personal umgesetzt werden. Dieser Vorgang

¹⁹ Vgl.: In Anlehnung von bestehenden Verträgen und der GEFMA Richtlinie 124

²⁰ Vgl.: Najork, Eike N. S. 70

²¹ Vgl.: Nävy, Jens; S. 331

²² In Anlehnung von bestehenden Verträgen und der GEFMA Richtlinie 124

muss von Führungskräften, die Schwerpunkte setzen begleitet werden, um frühe Ergebnisse und Erfolgserlebnisse zu verzeichnen und um mit den erreichten Zielen zu motivieren.²³

1.5 Begriff Energieeffizienz

Der Begriff Energieeffizienz ist nach dem Ökonomischen Prinzip zu erklären und beschreibt allgemein die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit. Das Ökonomische Prinzip auch Rationalprinzip beschreibt, dass der Mensch mit der Knappheit von Gütern oder Mitteln wirtschaften muss. Dabei existieren zwei Wege zur Zielerreichung.

- „maximal Prinzip: Mit gegebenen Mitteln den größtmöglichen Zielbeitrag zu erreichen.
- minimal Prinzip: Ein vorgegebenes Ziel mit geringst möglichen Mitteln erreichen.“²⁴

„Die Steigerung der Energieeffizienz beteiligt sich nicht nur an der Kostenersparnis, sondern beteiligt sich auch als günstigste, schnellste und umweltfreundlichste Art und Weise, den weltweiten Energiebedarf zu befriedigen. Das heißt, es werden nicht nur ökonomische, sondern auch ökologische Ziele verfolgt. Je höher die Energieeffizienz, desto niedriger ist die Investitionen in die Energieversorgung.“

²⁵ Zu beurteilen ist die Energiemenge, die zu einer Standardnutzung benötigt wird. Darunter zählt die Beheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung. Im Zuge der Energieeffizienzbewertung nach europäischem Recht werden bauliche, technische und nutzungsspezifische Einflussfaktoren berücksichtigt, wie z.B.:

- Wärmedämmung,
- technische Merkmale und Installationskennwerte,
- klimatisch wichtige Aspekte wie Bauart und Standort,
- Sonneneinwirkung und Wirkung von benachbarten Strukturen,
- eigene Energieerzeugung,
- Innenraumklima.²⁶

Bei der Erstellung von Energieausweisen nach den Regeln der Energieeinsparverordnung 2007 und auch zur allgemeinen Vorgehensweise geschieht die Bewertung von Gebäuden entweder:

- durch den Vergleich der Energiebedarfswerte mit Referenzwerten (d.h. Energiebedarfswerten vergleichbarer neuer oder sanierter Gebäude)
→ **Bedarfsorientierte Betrachtung,**

²³ Braun, Hans-Peter; Pütter; S. 123

²⁴ [Kiener; Scheubeck; Obermaier; Weiß; S. 16]

²⁵ Vgl. Energy Technology Perspectives, Szenarien & Strategien bis 2050, OECD, 2006, Seite 9

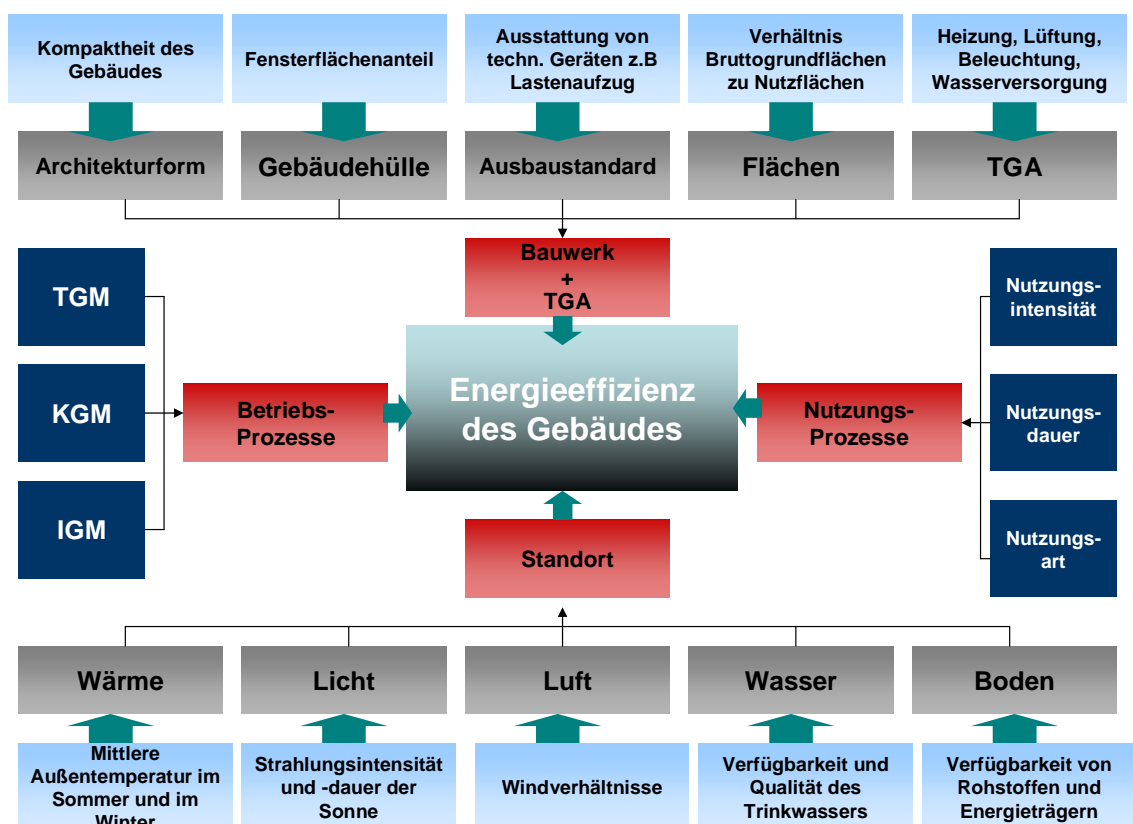
²⁶ Vgl. Junghans, Antje; S. 19

- oder durch den Vergleich von Energieverbrauchskennwerten mit Vergleichswerten in Form von Mittelwerten von vergleichbar genutzten Gebäuden.

→ **Verbrauchsorientierte Betrachtung.**²⁷

Bei der Bedarfsorientierten Betrachtung wird nach Standardnutzungsprofilen der zu erwartende Energiebedarf berechnet. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig, es berücksichtigt aber eine genaue Beurteilung der Gebäudehülle und Gebäudetechnik, die einen hohen oder niedrigen Energieverbrauch verursachen kann. Bei der verbrauchsorientierten Betrachtung, die weniger aufwendig ist, erfolgt die energetische Bewertung nur durch tatsächliche und gemessenen Energiemengen. Bei Forschungsprojekten des Instituts für Gebäude und Solartechnik der TU Braunschweig wurden extreme Differenzen zwischen Energiebedarf und dem tatsächlichen Energieverbrauch festgestellt. Gründe dafür liegen im falschen Betreiben der gebäudetechnischen Anlagen, Baufehlern, veränderten Klimabedingungen oder veränderten Nutzungsprozessen. Eine situationsangepasste Anwendung verschiedener Verfahren ist daher für den Aufbau eines Leitfadens sinnvoll.²⁸ Der Untersuchungsbereich dieser Arbeit hat damit beeinflussende Faktoren der Energieeffizienz von Gebäuden zum Focus. Die Einflussbereiche werden in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht. Die 4 Haupteinflussgruppen stellen sich wie folgt auf:

Abbildung 6: Einflussfaktoren der Energieeffizienz eines Gebäudes



²⁷ Vgl. DIN V 18599-1:2007-02, S. 12

²⁸ Zwischenbericht ARGE Benchmark Seite 9-12

Nutzungsprozesse:	werden in Nutzungsintensität, -Art und –Dauer untergliedert.
Standort:	beinhaltet die Umweltbeeinflussung des Gebäudes. Umweltfaktoren bilden Faktoren die sich nur in der Konzept und Bauphase regulieren lassen.
Betriebsprozesse:	<p>werden durch die Funktionalität der Gebäudemanagement Ebenen beeinflusst.</p> <p>TGM – Technisches Gebäudemanagement umfasst den Betrieb, die Wartung und Instandhaltung der Anlagen.</p> <p>KGM – Kaufmännisches Gebäudemanagement befasst sich beispielsweise mit der Beschaffung von Energien und Abrechnungen.</p> <p>IGM – Infrastrukturelles Gebäudemanagement beinhaltet die Gebäudereinigung und Hausmeisterdienste.</p>
Bauwerk und TGA:	Die Art, Kompaktheit und das Alter dieser Anlagen beeinflussen den Energiebedarf. ²⁹

Der weitere Verlauf dieser Arbeit setzt sich mit den Einflussflussfaktoren auseinander und zeigt auf wie Kennwerte für die Berücksichtigung aufbereitet werden können.

2. Energiebeeinflussende Faktoren des Gebäudes

2.1 Nutzungsbedingte Einflussfaktoren

Jedes Gebäude wird durch seine individuelle Nutzung geprägt. Beeinflusst wird dies auch durch den Menschen im Gebäude, der unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf sein Behaglichkeitsempfinden stellt. Jeder Mensch nimmt dieses Empfinden unterschiedlich wahr. Einflussparameter dafür sind die Temperatur der Luft und der raumumschließenden Flächen, die Luftfeuchtigkeit und die Luftwechselrate. Die Luftwechselrate ist für ausreichend Frischluftversorgung zuständig.³⁰ „Die thermische Behaglichkeit ist gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung optimal empfindet.“³¹ Zusätzlich wird sie auch durch physikalische, chemische und optische Einflussfaktoren wie Beleuchtung, Geräuschbildung und Geruchsstoffe bestimmt. Entscheidend ist aber auch das Alter der Person, seine Kleidung und sein Gesundheitszustand.³²

²⁹ Vgl. Junghans, Antje; S. 19 - 21

³⁰ Vgl.: Junghans, Antje; S. 21

³¹ [DIN 1943-2 VDI, Lüftungsregeln]

³² Vgl.: Junghans, Antje; S. 21

Studien haben bewiesen, dass das Wohlfühlempfinden der Mitarbeiter zu erhöhter Leistungsfähig und Leistungsbereitschaft führen kann.³³ Der Energieverbrauch von Gebäuden wird unterschieden in den Basisbedarf für gesunde Lebens- und Arbeitsräume und den Energiebedarf für Prozesse, die durch die Nutzer aktiviert werden. Bei der Bereitstellung dieser Energien sind die Mindestanforderungen des Arbeitsschutzes, Gesundheitsschutzes und den anerkannten Regeln der Technik zu berücksichtigen.³⁴ Maßgeblich ist vor allem die Nutzungsdauer und Nutzungsintensität. Sie wird beispielsweise davon beeinträchtigt, ob die Heizanlagen täglich 24 Stunden laufen, an den Wochenenden und nachts abgeschaltet werden oder im reduzierten Betrieb laufen.³⁵

Bei einer Energieeffizienzbewertung ist es schwierig, nutzungsspezifische Werte zu erfassen. Nach EnEV für Nichtwohngebäude wird nur die Energiemenge von Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebauten Beleuchtung relevant berücksichtigt. Das heißt, dass andere nutzungsbedingte Energieprozesse die über diese Grenze hinausgehen, unberücksichtigt bleiben.³⁶ Nutzungsspezifische Energieprozesse, wie die technische Ausstattung von Büroarbeitsplätzen oder spezielle Arbeitsgeräte von Kantinen, lassen sich vor allem bei größeren Objekten über das Jahr sehr schwer abschätzen. Auf Basis von Verbrauchsorientierter Bewertung nach EnEV für Nichtwohngebäude und der Richtlinie nach VDI 3807 „Energie und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude“ wurden aus diesem Grund Gebäudenutzungskategorien nach Bauwerkszuordnungskatalog (BWZK) entwickelt. Diese Kategorien ermöglichen es, Gebäude der gleichen Nutzung anhand ihres Verbrauches zu vergleichen.³⁷ Um die Betriebsweise der Technischen Anlagen zu überprüfen, ist dieses Verfahren jedoch ungeeignet.

2.2 Standortbedingte Einflussfaktoren

Die Energieeffizienz von Gebäuden wird weiterhin vom Standort geprägt. Die herrschenden Außentemperaturen wirken sich auf die Heizperioden aus. Bezogen auf unterschiedliche Standorte entstehen an den verschiedenen Punkten der Erde auch unterschiedliche Heizperioden. Zum Beispiel kann es vorkommen, dass trotz einer guten Wärmedämmung mit sehr guten Isolierglasfenstern ein extrem kalter Winter die geplanten Einsparungen vermindert. Energiegewinne durch Solaranlagen sind abhängig von der Strahlungsintensität der Sonne und der Sonnenscheindauer. Verfügbare Grundstückerschließungen bestimmen die Ver- und Entsorgung von Energieträgern und Medien.³⁸

³³ Vgl.: Nävy, Jens S. 337

³⁴ Vgl.: Junghans, Antje; S. 21-22

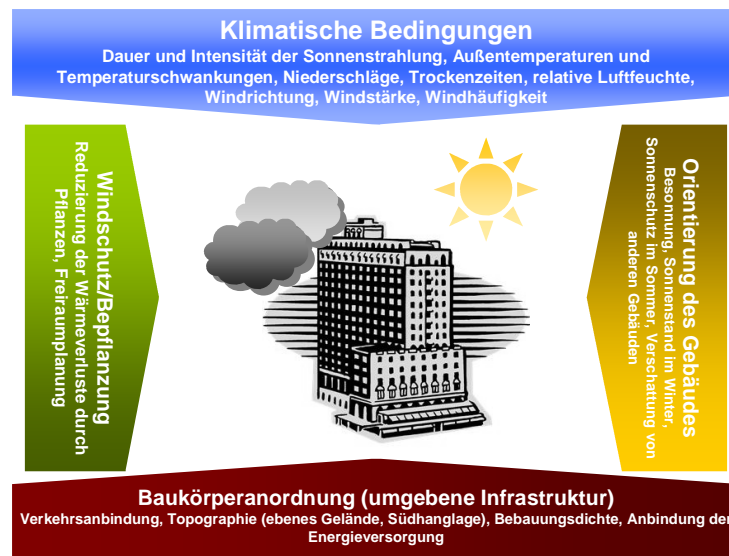
³⁵ GEFMA 124-1, S. 8

³⁶ BBSR-Online-Publikation, Nr. 09/2009, S. 36

³⁷ BBSR-Online-Publikation, Nr. 09/2009 S. 3

³⁸ [Junghans, Antje; S. 22-23]

Abbildung 7: Standortbedingten Einflussfaktoren³⁹



Um die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zu berücksichtigen, wurde ein Korrekturfaktor entwickelt, um dies auszugleichen. Die nach VDI 2067 „Raumheizung: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“ beschriebene Gradtagszahl berücksichtigt klimatische und jahreszeitliche Einflüsse. „Die Gradtagszahl ist die Summe aus den Differenzen zwischen einer angenommenen Innentemperatur von 20°C und dem jeweiligen Tagesmittelwert der Außentemperatur, an denen die Heizgrenztemperatur 15°C des Gebäudes unterschritten wurde. Dabei stellt die Heizgrenztemperatur die Tagesmitteltemperatur dar, an denen ein Gebäude beheizt werden muss.“⁴⁰ Gradtagzahlen werden vom Deutschen Wetterdienst standortspezifisch ermittelt.⁴¹

2.3 Einflussfaktor Betriebsprozesse

Durch die Art der Betriebsweise von Gebäude und Gebäudetechnik wird der Energieverbrauch direkt bestimmt. Auch wenn das Gebäude und die Gebäudetechnik sich auf einem modernen Stand befinden, beeinflusst der Betrieb und die Art der Nutzung die Verbrauchszahlen. Durch die Organisation des optimalen Betriebs ergeben sich auch für ältere Gebäude und Anlagen mögliche Einsparungen. In modernen Verwaltungsgebäuden wird der meiste Energieverbrauch den Heizzwecken zugeschrieben, was mit dem allgemeinen Verbrauch Deutschlands korreliert. Nach der produzierten Endenergie werden mehr als 30 % in Deutschland für Raumwärme verwendet.⁴²

Nach der GEFMA werden Betriebsprozesse in die 6. Lebenszyklusphase „Betrieb und Nutzung“ eingeordnet und beinhaltet die Teilprozesse, Bedienen, Prüfen, Inspizieren, Warten, Instandsetzen und

³⁹ In Anlehnung: Junghans, Antje S. 22-23

⁴⁰ VDI 2067

⁴¹ Vgl. www.dwd.de/gradtagzahlen

⁴² Vgl. Krimmling, Jörn; S. 106

Erneuern in Bezug auf Anlagen und Einrichtungen.⁴³ Durch ein wirkungsvolles Energiecontrolling und mit Hilfe ingenieurtechnischer Methoden müssen Anlagen optimal eingestellt werden um den bestmöglichen Gesamtwirkungsgrad zu erreichen und die anerkannten Regeln der Technik einzuhalten.⁴⁴ Das betrifft vor allem Bereiche wie Hygiene, Anlagensicherheit, Brandschutz und Bausubstanzerhaltung.⁴⁵

Der Leistungsumfang eines Facility Managementvertrages beginnt mit der Übernahme der technischen Anlagen und die Einweisung durch den AG oder dem vorherigen Dienstleister zu Vertragsbeginn. Durch eine Begehung werden zunächst Schäden und Mängel an den technischen Anlagen aufgenommen und protokolliert. Bei der Inbetriebnahme von neuen technischen Anlagen erfolgt eine Abnahme gegenüber Herstellern und Lieferanten. Somit werden durch den FM Dienstleister die Eigentümerinteressen verfolgt. Zur Anlagenbedienung gehört dann das Stellen, Schalten, Steuern, Regeln und Überwachen durch die Gebäudeautomation und/ oder regelmäßige Kontrollrundgänge. Zu überwachen ist der bauliche-, funktionelle- und der Sauberkeitszustand. Gefahrenzustände, Schäden und Störungen müssen erkannt und zeitnah behoben werden. Der Betrieb umfasst neben der Auffüllung von Verbrauchsstoffen, das Berichtswesen auch die Optimierung des laufenden Betriebes.⁴⁶ Stellglieder bei der Optimierung einer Anlage sind die Betriebsparameter, Regelalgorithmen und Absenkezeiten. Bei der Einstellung einer solchen Anlage sind diese Stellglieder folgendermaßen abzuarbeiten:

- Betriebsparameter sind Variationen der Temperaturen, Drücke, Heizkurven, Laststufen, Luftmengen usw.. Diese sind auf den besten Gesamtwirkungsgrad der Anlage einzustellen. Das Ziel ist es, so wenig wie möglich Energie bei einer entsprechenden Versorgung zu verbrauchen.
- Übergeordnete Optimierungsansätze müssen in festgelegte Regelalgorithmen umgesetzt werden. Die Wirkung zwischen den verschiedenen Teilanlagen untereinander ist zu gewährleisten.
- Das Einstellen von Absenkezeiten ist an die Nutzungszeiten anzupassen um den Absenkebetrieb so weit wie möglich auszudehnen.

Eine Verbesserung des Gesamtnutzungsgrades kann auch die Optimierung des Erdgasverbrauches darstellen. Dabei konnten 14 % des Erdgasverbrauches eines Krankenhauses, bezogen auf das Vorjahr, erreicht werden. Die Maßnahmen, wie z.B. Verlängerung des Absenkebetriebes in den Nichtnutzungszeiten, Anpassung der Raumtemperaturen auf normale Werte, Absenkung der Systemtemperaturen im Nahwärmenetz und der Erzeugeranlage, Nachtschaltung der Aufladung des Warmwasserbereiters stellen Maßnahmen dar, die den Verbrauch senken.⁴⁷ Als Stellglieder zur Unterstützung der

⁴³ Vgl. GEFMA 100-2 Anhang B, S. B 17

⁴⁴ Vgl. Krimmling, Jörn S. 109

⁴⁵ Vgl. GEFMA 124-1, S. 8

⁴⁶ [Junghans, Antje; S. 23-24]

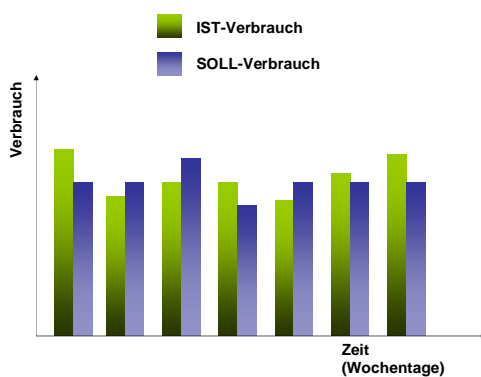
⁴⁷ [Krimmling, Jörn; S. 109]

Betriebsprozesse sind z.B. das Energiecontrolling, CAFM-Systeme, und Lastmanagement zu sehen. Eine Erklärung dieser Begriffe folgt in den nächsten Punkten.

2.3.1 Energiecontrolling

„Der Begriff Controlling steht für ein umfassendes Steuerungs- und Koordinationskonzept, um die Planung und Umsetzung von Projekten und Prozessen zu unterstützen.“⁴⁸ Dabei verfügt es über wichtige Werkzeuge, wie Monitoring und Reporting. Unter Monitoring wird die Erfassung von Daten, Informationen und Zuständen durch Beobachtung und Überwachung eines Prozesses verstanden. Das Reporting fasst die Daten dann zusammen und gestaltet es in eine übersichtliche Darstellung. Es zeigt die Ergebnisse des Energiemanagement in Form von Kennzahlen und Grafiken. Das Ziel, niedriger Energieverbrauch und niedrige Energiekosten ist nur durch einen ständigen SOLL-IST-Vergleich zu erreichen. Die Anlagen werden permanent überwacht. Sobald Sollwerte nicht mehr eingehalten werden, wird dies durch das Reporting deutlich.

Abbildung 8: Energiecontrolling SOLL-IST-Vergleich



Anhand dieser Abbildung erkennt man den qualitativen Vergleich der SOLL- und IST-Werte. Die grünen Balken stellen dabei den aktuellen IST-Verbrauch dar. Erfahrungen zeigen, dass Energiecontrolling nicht nur als psychologisches Stellglied dient. In der Praxis zeigt sich, dass der Verbrauch durch einen plötzlichen Austritt des Controllings sofort ansteigt und beim wieder Inkrafttreten in den Normalbereich pendelt. Der Aufbau bzw. die Anforderungen an ein Energiecontrolling stellen sich wie folgt auf:

- Verbrauchserfassung nach Energieträgern (Gas, Heizöl, Fernwärme, Elektroenergie, Wasser)
- Verbrauchserfassung nach Anwendungsbereichen (Heizung, Klima, Beleuchtung)
- Verbrauchserfassung nach Nutzungsbereichen (Bereiche, Abteilungen, Gebäude, Werkhallen)

Die Verbrauchserfassung nach den Energieträgern wird in der Regel durch den Lieferanten realisiert. Sinnvoll ist es eine Vereinbarung mit dem Energielieferanten zu treffen, dass Verbrauchsdaten z.B. per Ferndatenübertragung zur Verfügung gestellt werden. So ist eine optimale Auswertung gegeben.⁴⁹

⁴⁸ [GEFMA 124-1 S. 1

⁴⁹ [Krimmling, Jörn; S. 113-114]

2.3.2 CAFM als Unterstützung des Energiemanagements

Das CAFM System (Computer aided Facility Management) schließt direkt an das Energiecontrolling an und dient als Informationsmanagementsystem um Daten schnell und effizient auszulesen. Es stellt ein komplexes Projekt dar und sichert eine komplette Lösung in Abhängigkeit des Lebenszyklus einer Immobilie von der Konzeption, Implementierung, Betrieb und letztendlich dem Rückbau der Gebäude. Bei der Wahl der Systeme sind Kombinationen aus einfachen Softwarewerkzeugen, komplette Standardangebote oder eine individuelle Software möglich. Durch Schnittstellenverbindung wird die Software dann an kaufmännische Unternehmenssoftware oder der Gebäudeautomation angeschlossen. Neben Reinigungsmanagement, Betriebskostenmanagement und Flächenmanagement unterstützt es vor allem auch das Energiecontrolling.⁵⁰ Dabei können sämtliche Verbrauswerte und spezifische Messdaten wie, z.B. Wetterdaten verwaltet und analysiert werden. Direkt oder per Ferndatenauslesung (mittels Sensorik) werden die Informationen, wie relative Luftfeuchtigkeit und Außentemperatur im IT System gespeichert. Es unterstützt das Energiemanagement mit diesen Informationen:

- Erfassung des Verbrauchs aller vorhandenen Zähler
- Flächenstrukturen zur Einteilung von Zonen zur Auswertung der Nutzungsgegebenheiten
- Wetterdaten für Klimakorrekturen
- Regelverbrauch, zur schnellen Erkennung von Störfällen

Das Ziel einer solchen Software ist es, die maximale Transparenz des Verbrauchs und der Kosten zu erlangen. Die Erfassung des Verbrauchs kann manuell oder automatisch stattfinden, wobei kurze Intervalle einer manuellen Erfassung, auf Dauer sehr kostenintensiv sein kann. Eine moderne Ablesehardware kann ohne Gebäudeleittechnik sekundengenau kostengünstig den Verbrauch ablesen. Es eignen sich auch hervorragend mobile PDAS, mit denen eine manuelle Verbrauchsdatenablesung ohne das extra Einpflegen einer Datenbank vollzogen werden kann. Auswertungen durch das CAFM unterstützen nicht nur das Energiemanagement sondern auch das vertragliche Berichtswesen, Kennziffernberechnungen und Benchmarking.⁵¹

2.3.3 Lastmanagement

Das Lastmanagement stellt ein Teilgebiet der Anlagenoptimierung dar und ist die Gesamtheit der Managementfunktionen, die das Ziel verfolgt, den Lastgang zu vergleichmäßigen. Somit wird der maximale Leistungsbedarf gesenkt und damit auch die leistungsbezogenen Kosten.⁵² Lastmanagement teilt sich in zwei Bereiche, Strom- und Wärmebezug. Bei beiden ist voraussetzend, dass der Energie-

⁵⁰ Vgl. May, Michael; S. 5-6

⁵¹ Vgl. May Michael; S. 32-33

⁵² GEFMA 124-1, S. 4

liefervertrag mit einem leistungsabhängigen oder variablen Leistungspreis vereinbart wurde. Die Vereinbarung eines solchen Preises könnte z.B. der Mittelwert der drei höchsten monatlichen Lastspitzen der Stromkosten eines Monats darstellen.

Lastmanagement beim Strombezug

Hierbei werden die Momentanwerte des Leistungsbezuges am EVU Zähler überwacht und ein zeitweise Abschaltung oder Reduzierung des Verbrauchs bei festgelegten Grenzwerten durchgeführt. Anschließend kommt es zu einer Verschiebung der Zeiträume für den Energiebezug um die Leistungsaufnahme im maßgeblichen Zeitpunkt zu reduzieren. Für die Umsetzung dieses Verfahren existieren zwei Lösungsansätze.

- Zum einen wird der Betrieb so organisiert, dass Leistungsspitzen gering gehalten werden (organisatorisches Lastenmanagement). Dies fordert einen grafischen Tagesverlauf der Bezugsleistung.
- Zum anderen existieren spezielle Lastmanagementsysteme, die durch Regelgeräte automatisch Leistungsspitzen erkennen.⁵³

Lastmanagement beim Wärmebezug

Das Lastmanagement beim Wärmebezug wird bei den wärmeverbrauchenden Anlagen, die entweder unter Fernwärme oder einen Gasbezug arbeiten, angewandt. Die Regelungstechnik der Wärmeströme erfasst die jeweiligen Zustände des Gebäudes und aktuelle Einflussfaktoren an den Messstellen in bestimmten Intervallen. Ein Wärmeleistungsregler sorgt für die tatsächlich benötigte Wärmeleistung. Dabei spielen Einflussfaktoren wie Witterung, Gebäudephysik und Nutzung eine Rolle. Das Maximum des Leistungsbezuges ist durch zeitliche Verteilung regelbar, ohne die qualitative Versorgung zu beeinträchtigen.

Mit der Methode des Lastmanagements sind Optimierungen möglich, die nahe einer Grenze des realtechnischen Machbaren liegen. Jedoch dazu bedarf es an erfahrenes Personal zu verfügen, welches z.B. Geräte einbaut, bedient, überwacht und Ergebnisse nach sachkundiger Lage interpretieren kann.⁵⁴

2.4 Einflussfaktor Bauwerk und technische Gebäudeausrüstung

Durch die Musterbauordnung (MBO) werden Gebäude in fünf Gebäudeklassen eingeordnet. Bürogebäude gehören damit zur fünften Gebäudeklasse und werden als Sonderbauten erklärt. „Sonderbauten sind Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung“. Das Gebäude muss dann den Tatbestand erfüllen, dass es der Büro- oder Verwaltungsnutzung dient und einer Grundfläche von mehr als

⁵³ GEFMA 124-2, S. 11-12

⁵⁴ GEFMA 124-2, S. 12

400 m² aufweist. Weitere Gliederungskriterien sind Gebäudehöhe und Bruttogrundfläche. Die Einteilung in Gebäudeklassen ist im Bezug auf Brandschutz- und Sicherheitsanforderung, Barrierefreiheit und die damit verbunden Konstruktion und Planung wichtig.⁵⁵

Im Wohngebäudebestand existiert eine Einteilung in Baualtersklassen auf der Grundlage von Erfahrungswerten aus Altbaumodernisierungen und typischen Schadensbildern in Bezug auf ihre Dämmfähigkeit. Zum Beispiel verfügen Wohngebäude aus den 60ern über unzureichendem Wärmeschutz, der durch Wärmebrücken an Heizkörpernischen, Durchfeuchtungen an erdnahe Mauerwerken und Wärmebrücken durch Mischkonstruktionen der Außenwände zu Stande kommt. Die so genannten 70er Jahre bauten weisen statische Probleme bei eingehängten Balkonbrüstungen an Betonfertigteilen, schadhafte Fugen zwischen den Betonfertigelementen, mangelnde Wärmedämmungen und ebenfalls Durchfeuchtungen bei bestimmten Außenwandkonstruktionen auf. Die Wärmeschutzverordnung brachte ab den 70er Jahren eine zunehmende Steigerung in der Verbesserung der Wärmedämmung von Bauwerken. Der Heizwärmebedarf im Jahr 1977 von 250 kWh/m² im Jahr konnte 1995 auf 100 kWh/m² x a reduziert werden. Im Zuge der Energiebewertung ist es demzufolge wichtig zu wissen, wann das Gebäude errichtet wurde bzw. wann es das letzte mal auf seine Dämmqualität modernisiert wurde. Durch die Einführung der Energieeinsparverordnung seit 2002 wurden die Anforderungen an energetische Gebäudestandards noch weiter erhöht. Auch eine Bewertung der Anlagentechnik, die die gesamte technische Gebäudeausrüstung (TGA) betrifft, ist hinzugekommen. Die technische Gebäudeausrüstung beinhaltet die Anlagen die für das Raumluftklima und die Warmwasserbereitung zuständig sind. Im Rahmen dieser Ausarbeitung spielen drei Untersuchungsbereiche eine tendenzielle Rolle: „Energieerzeugung, Energieverteilung und Energieübergabe“. Die Energieerzeugung befasst sich mit den zentralen Einrichtungen zur Beheizung, Kühlung, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung. In der Energieverteilung werden die Leitungen zur Verteilung der unterschiedlichen Energieformen vom Erzeugungsort bis zum Verwendungsort untersucht. Die Energieübergabe untersucht die Übertragungsflächen oder –Arten, mit denen die Übergabe an die Räume erfolgt. Das Berechnungsverfahren nach aktueller Energieeinsparverordnung (EnEV 2007) trennt bei Energiebedarfskennwerten nach Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie. Die Berechnungen werden durch die DIN V 18599-1 definiert.

- **Nutzenergiebedarf:** Bedarf für Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasser.
- **Endenergiebedarf:** Setzt sich zusammen aus dem Nutzenergiebedarf und technischen Verlusten für die Verteilung und Erzeugung je nach Konditionierungsart. Der Endenergiebedarf wird in den nach EnEV ausgestellten Energieausweis angegeben.
- **Primärenergiebedarf:** Der Primärenergiebedarf wird bestimmt durch die Höhe des Endenergiebedarfs und den Verlust, der durch Prozesse wie Verbrennung, Kernspaltung oder Raffinieren bei der Umwandlung der Sekundärenergie entsteht.⁵⁶

⁵⁵ Musterbauordnung § 1, Nr. 3

⁵⁶ [Junghans, Antje; S. 23-24]

Das Gebäude liefert dem Nutzer die Flächen, um seine Aktivitäten auszuführen. Zugleich ist es Image- und Prestige-Objekt und kann auch zu Marketingzwecken dienen. Bei nichtöffentlichen Gebäuden kann daher die Energieeffizienz eine wichtige Rolle bei der Auswahl der gewünschten Flächen spielen. Das Umweltbewusstsein und die Sparsamkeit in Bezug auf Energien sorgt dafür, dass Gebäude immer weiter modernisiert werden und nicht bis zur Unendlichkeit abgenutzt werden. Durch die Nutzung von regenerativen Energien kann der Primärenergieverbrauch reduziert und die Umwelt entlastet werden.⁵⁷

In den nächsten Schritten dieser Arbeit werden Möglichkeiten und Technologien untersucht die einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäude leisten.

2.4.1 Passivhaustechnologie

Passivhäuser sind Gebäude, die ohne eine klassische Heizung, wie Öl- oder Gasheizungen auskommen. Sie verfügen über eine sehr gute Wärmedämmung, die die Wärmeenergie durch die vollständige Abdichtung des Gebäudes in der Gebäudehülle lässt. Die Außenwand eines Passivhauses besitzt einen U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient Kapitel 4.3) von $0,15 \text{ W/m}^2$ im Vergleich dazu haben normale Gebäude einen maximalen U-Wert von $0,28 \text{ W/m}^2$.⁵⁸

Jedes Gebäude muss belüftet werden. Durch den Luftwechsel wird die Bildung von Schimmel, der durch Atemluft und andere Feuchte entsteht, unterbunden. Bei älteren Gebäuden erfolgt dies über Undichtigkeiten in deren Gemäuern, bei neueren Gebäuden durch das regelmäßige Öffnen der Fenster. Bei Passivhäusern findet beides nicht statt. Durch einen Wärmetauscher wird die einströmende Außenluft durch die ausströmende Innenluft erwärmt. Zusätzlich kann die Außenluft vorab erwärmt werden, in dem man sie durch Erdleitungen führt. Die abgegebene Erdwärme hat selbst bei Frosttemperaturen Außen eine Temperatur von bis zu $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Sollte dies nicht ausreichen um die Temperaturen im Haus zu halten, kommt es zu einer leichten elektrischen Nacherwärmung der einströmenden Luft. Ergänzt wird das Konzept durch Solaranlagen, nach Süden gerichtete Fenster und Verschattung an Fenstern die gegen die Erhitzungen der Räumlichkeiten dienen. Beim Bau von Passivhäusern ist mit ca. 10 - 15 % Mehrausgaben gegenüber konventionellen Technologien zu rechnen.⁵⁹

2.4.2 Wärmepumpen

Heizungssysteme mit Wärmepumpen nutzen die Wärme aus der Umgebung. Sie werden verwendet, wenn auf eine Heizung nicht verzichtet werden kann, aber keine fossilen Energieträger (Gas, Öl, Kohle) in den Brennern verwendet werden. Die Wärmepumpe funktioniert wie ein Kühlschrank nur in um-

⁵⁷ Vgl. Junghans, Antje; S. 28

⁵⁸ URL:<<http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/waermedaemmung-hausbau/waermedaemmung-k-wert.html>> verfügbar am 02.08.2011

⁵⁹ [Kals, Johannes; S. 83-84]

gedrehter Art und Weise. Der Kühlschrank, in unserem Falle die Wärmepumpe, wird in eine abgedichtete Öffnung der Außenwand gestellt. Die Kühlschranktür befindet sich außen. Öffnet man nun diese Tür springt die Pumpe an und das Innere des Kühlschranks kühlt ab. Die auf der Rückwand des Kühlschranks befindlichen Röhren geben die der Umgebungsluft entzogene Wärme ab. Wärmepumpen nutzen dabei unterschiedliche physikalische Prinzipien. Die Flüssigkeiten nehmen beim Verdampfen Energie auf, diese Energie wird der Umgebung entzogen, so dass Verdunstungskälte entsteht. Sobald jedoch die Kondensation (vom gasförmigen in den flüssigen Zustand) einsetzt, wird die aufgenommene Energie wieder frei und es entsteht Kondensationswärme. Weiterhin kann man mit Druck den Siedepunkt von Flüssigkeiten erhöhen, (Prinzip des Schnellkochtopfes) das heißt, sie kondensieren damit schneller und geben schneller Kondensationswärme ab. Üblicher Weise bestehen Wärmepumpen aus einem Wärmetauscher der die Wärme in den Heizkreislauf abgibt und einem elektrisch betriebenen Kompressor, der die eigentliche Pumpe ist.

Ob eine Wärmepumpe in wirtschaftlicher Hinsicht effizient ist, ist davon abhängig, wie lange der elektrische Kompressor über das Jahr läuft um die notwendige Heizenergie zu liefern. Dazu wird die Jahresarbeitszahl berechnet. Sie gibt das Verhältnis zwischen der erzeugten Heizenergie und der elektrischen Energie an. Die Jahresarbeitszahl liegt im Schnitt bei 3 bis 4,5 Kilowattstunden. Große Temperaturgefälle, schlecht gedämmte Gebäude mit kleinen Heizflächen sorgen für einen ineffizienten Betrieb der Wärmepumpe. Wärmepumpen bringen Niedertemperaturwärme auf eine höhere Temperatur die für die Heizung erforderlich ist. Sollten die Vorlauftemperaturen des Heizkreislaufes sehr hoch sein und die Umgebungstemperaturen im Winter dann noch sehr kalt, ist vom Einsatz einer Wärmepumpe abzuraten weil der elektrische Kompressor zu lange laufen würde. Eine Niedertemperaturheizung ist zum Beispiel eine Fußbodenheizungen. Die Kombination aus Fußbodenheizung und einer Erdsonde bei der Bohrungen von 60 bis 80 Metern Tiefe vorgenommen werden, liefert günstige Jahresarbeitszahlen. Erdsonden verfügen über eine konstante Temperatur von 8°C das ganze Jahr und können somit im Sommer auch zu Kühlzwecken genutzt werden.⁶⁰

2.4.3 Warmluftheizung und Strahlenkonvektoren

Bürogebäude werden üblicher Weise mit hydraulischen Warmwasserheizungen, die ihre Wärme über Heizkörper an den Raum abgeben, beheizt. Bei Nutzungsarten, wie Lagerhallen mit Deckenhöhen von mindestens 4 Metern, ist dieses System jedoch nicht sehr sinnvoll. Hier finden Systeme, wie industrielle Warmluftheizungen oder Strahlungsheizungen ihren Platz. Bei Warmluftheizungen wird erwärmte Luft über ein Gebläsekonvektor in den Raum gebracht. Schnelle Aufheizzeiten, Kombinationslösungen mit Lüftungssystemen und Wärme-Kühl-Variationen sichern hier Vorteile. Nachteilig ist, dass sich an den Hallendecken Hitzezonen von bis zu 30° C bilden können, die bei schlechter Dachdämmung noch nach außen strömen können und somit einen hohen Energieverbrauch bilden. Dementsprechend ist es dann im unteren Bereich der Halle kühl und es entstehen Zugerscheinungen durch den erhöhten Luftwechsel. Dies wird nutzungsbedingt noch durch

⁶⁰ Vgl. Kals Johannes S. 84-86

den erhöhten Luftwechsel. Dies wird nutzungsbedingt noch durch geöffnete Ladetore verstärkt. Heizungssysteme nach Strahlungsprinzip in Form von Infrarot- oder Deckenstrahlenplatten erwärmt Körperteile mittels elektromagnetischer Wellen, die sich in den Strahlungszonen befinden. Sie unterstützen die Raumtemperatur besser als Warmluftheizungen, sorgen für ein gutes Behaglichkeitsempfinden ohne Zugerscheinungen und haben geringere Wärmeverluste. Bei geringen Nutzungszeiten ist es sinnvoll, Hallen vorzuheizen, jedoch auch das geschieht durch das schnelle Einschalten der Wärme in kurzer Zeit.⁶¹

2.4.4 Thermochemische- und Latentwärmespeicher

Bei thermochemischen Wärmespeichern ergibt sich eine nahezu verlustfreie Wärmespeicherung über einen großen Zeitraum mit hoher Energiedichte. Sie arbeiten mit Zeolithen oder Silikatgelen und werden für die Beladung von Solarkollektoren verwendet. Silikatgele und Zeolithe sind in der Lage, große Mengen Wasser absorptiv zu binden. Man kennt sie aus der Verpackungstechnik, wo kleine weiße Beutel mit kunststoffartigen Kugeln in Verpackungen, wie z.B. von Elektrogeräten, dafür sorgen, dass sie keine feuchtigkeitsbedingten Schäden erlangen. Der Ladevorgang geschieht so, dass durch Wärmezufuhr (Sonnenstrahlen) dem Speichermedium Wasser entzogen wird. Bei der Umkehrung des Vorgangs, also der Kondensation in den flüssigen Zustand, wird Wärme wieder freigegeben. Das Prinzip ähnelt daher dem Wärmepumpenprinzip. Es kann beliebig oft eine Be- und Entladung stattfinden. Im Unterschied zu standardmäßigen Heißwasserspeichern, können sie eine 4-5-mal höhere volumenbezogene Wärmemenge aufnehmen. Abhängig von der Anlagentechnik kann dieses System auch zum Kühlen genutzt werden. Beim Lastmanagement in der Nah- und Fernwärme decken sie den Spitzenlastbedarf und sorgen so für einen Ausgleich.⁶²

Nach ähnlichem Prinzip arbeitet der Latentwärmespeicher. Dieser besteht aus Gipsplatten, bei denen kleine Plexigaskugeln eingearbeitet werden (je m² 3 Kg). Diese Kugeln sind von Paraffin ummantelt, welches bei 23 °C schmilzt und dabei Energie aufnimmt, somit kühlt die Anlage automatisch das Gebäude. Sobald die Temperatur auf unter 23 °C sinkt, wird das Paraffin wieder fest und die gespeicherte Energie wird wieder abgegeben, die Anlage beheizt nun das Gebäude. Im Jahr 2009 wurde dem vom Fraunhofer-Institut entwickelte Verfahren der Deutsche Zukunftspreis verliehen.⁶³ Beide Systeme sind noch nicht weit verbreitet, bilden jedoch einen positiven Blick in die Zukunft.⁶⁴

⁶¹ Vgl. Kals Johannes; S. 86-87

⁶² Vgl. Drusche, Volker; S. 207-208

⁶³ Vgl. Kals, Johannes; S. 88

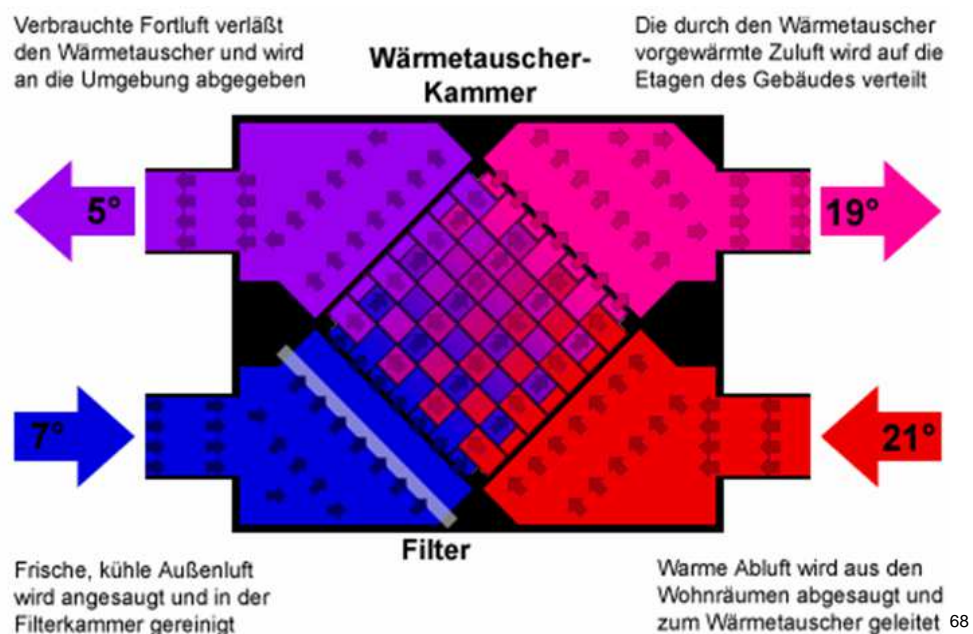
⁶⁴ Vgl. Kals, Johannes; S. 90

2.4.5 Nutzung von Abwärme und Kühlung

Bei der Nutzung von Abwärme werden zum Kühlen und Beheizen an anderen Stellen Wärmetauscher eingesetzt. Sie geben die Wärme an Konvektoren oder das Heizungssystem weiter. Aus diesem Grund werden sie auch als Wärmeüberträger bezeichnet. Man unterscheidet dabei 3 Gruppen:

- **Direkte Wärmeüberträger:** Das Medium, was gewärmt oder gekühlt werden soll wird direkt in Kontakt mit dem Medium, was seine Wärme abgeben soll, gebracht.
- **Indirekte Wärmeüberträger:** Auch Rekuperatoren genannt, verfügen über ein großflächiges wärmeleitendes Material, was das Medium voneinander trennt.⁶⁵ Plattenrekuperatoren bestehen aus dicht nebeneinander gesetzten Platten mit leitfähigem Material. Die Abbildung zeigt die Funktionsweise eines solchen Wärmetauschers. Während warme Abluft, z.B. aus einem Serverraum abgesaugt wird, wird zeitgleich frisch gefilterte Außenluft angesaugt und als vorgewärmte Zuluft an andere Räume abgegeben. Die verbrauchte Vortluft wird an die Umwelt abgegeben.⁶⁶
- **Halbdirekte Wärmeüberträger:** Sind z. B. Wärmeräder. Über ein großes wärmeleitfähiges Rad (Aluminium) wird Wärme aufgenommen und durch die Drehung in den kalten Bereich befördert. Das gleiche gilt für die Kälte nur in umgedrehter Variation. Bisher sind mit dieser Technik sehr gute Energieeinsparergebnisse erzielt wurden.⁶⁷

Abbildung 9: Plattenrekuperatoren Wärmetauscher



⁶⁵ Vgl. Kals, Johannes S. 90

⁶⁶ Vgl. [url://www.diy4you.de/basics/diy_lexikon/k/lexikon_begriff/kreuzstromwaermetauscher.html](http://www.diy4you.de/basics/diy_lexikon/k/lexikon_begriff/kreuzstromwaermetauscher.html) verfügbar am 07.08.11

⁶⁷ Vgl. Kals, Johannes, S. 89

⁶⁸ http://www.diy4you.de/basics/diy_lexikon/k/lexikon_begriff/kreuzstromwaermetauscher.html

Wärmetauscher existieren in unterschiedlichen Größen, zum einen für den privaten Haushalt, zum anderen riesige Modelle für den industriellen Bereich. Mit Wärmetauschern kann die produzierte Energie beim Nutzungsprozess weiter zum Beheizen der Räume an anderen Stellen verwendet werden. Zusätzlich werden Serverräume durch ihren Einsatz gekühlt und die über den Tauscher aufgenommene Wärme kann dem Heizkessel zur Erwärmung des Wassers zugeführt werden. So ist eine Wärmespeicherung bis zu einigen Tagen möglich.

Um Serverräume im Sommer effizient zu kühlen, bedient man sich in der Regel einer „freien Kühlung“. Dies gelingt z.B. unter Verwendung eines Wärmerates. Zusätzlich kann an heißen Tagen die Erdkühlung mittels Wärmepumpe genutzt werden. Die Umsetzung basiert in Verbindung eines Wärmetauschers und Kühlkreisläufen eines Gebäudes. Somit kann das Gebäude auch an diesen Tagen gut klimatisiert werden.⁶⁹

3. Entwicklung eines Energieanalysemodells

Das in Folge beschriebene Modell ist in Anlehnung verschiedener Regelwerke, die auf eine überschlägige Energiebedarfsrechnung beruhen, entstanden. Nach der Praxisanwendung hat sich ergeben, dass die überschlägige Ermittlung der Energiebedarfsströme mit dem Vergleich des Verbrauchs als praktikable Lösung erscheint, um den Betrieb der Heizungstechnik, Klimatechnik und Lüftungstechnik zu überprüfen. Weiterführend werden organisatorische und investive Maßnahmen festgelegt und dokumentiert. Das Modell wurde für den Zweck eines Vertragsbedingten Energiemanagements erstellt. Folgende Unterlagen und Prozesse sind im Voraus für die erfolgreiche Durchführung des Modells zwingend notwendig:

- Überprüfung des Vertrages in Bezug auf Energiemanagement. Die Kontrolle der geforderten Maßnahmen ist dabei wichtigstes Stellglied,
- Ausführliche Objektbegehung mit einem Techniker. Die Objektbegehung beinhaltet die Berücksichtigung der Technischen Anlagen, vor allem eine Beurteilung des technischen Zustandes,
- Baupläne für die Flächenberechnung,
- Zählerwerte der letzten 3 Jahre untergliedert nach Wärme, Strom und Wasser, zuzüglich einer Objektinformation, in welchen der Energiemengen die Trinkwassererwärmung enthalten ist,
- Rechnungen der letzten 3 Jahre für Wärme, Strom und Wasser,
- Auflistung der Leuchtmittel mit Anzahl der Leuchten, Leuchtmitteln im Gebäude und eventuelle Anzahl des Leuchtmittelaustausches,
- Auflistung der geschätzten Nutzeranzahl der letzten 3 Jahre.

⁶⁹ Vgl. Kals, Johannes S. 89

Je mehr Informationen für die Durchführung zur Verfügung stehen, desto genauer kann das Ergebnis der Analyse dokumentiert werden. Der Analyseprozess setzt sich aus folgenden Schritten zusammen und zeigt den Ablauf eines Energiemanagementkonzeptes unter Verwendung des Prozessmodells.

Abbildung 10: Energieanalysemodell



3.1 Aufstellung der Baseline

Verbrauchserfassung aus Zählerwerten und Rechnungen

Im ersten Schritt des Prozessmodells werden anhand von Zählerwerten oder Jahresabrechnungen des Energieversorgungsunternehmens die verbrauchten Energiemengen und die damit verbundenen Kosten ermittelt. Der Verbrauch im Basisjahr stellt die Baseline dar. Dieser Wert dient zur Kontrolle der Verbrauchswerte und gibt eine Aussage über die Bedienung und Führung der technischen Anlagen. Weiterhin dienen die ermittelten Energiekosten der letzten Periode als Grundlage für Berechnungen der Optimierungsmaßnahmen mit in Zukunft geplanten Investitionen.⁷⁰ Wenn variable Werte in

⁷⁰ Vgl. Butz, Cordon; S. 8

den Monatsabrechnungen (z.B. bei Fernwärme) angegeben werden, ist hier das arithmetische Mittel der letzten Jahre des Betrachtungszeitraums (12 Monate) zu bilden. Sollte der Verbrauch anhand von Zählerwerten entnommen werden, ist es zwingend notwendig, die Mengeneinheiten zu überprüfen und in vergleichbare Mengeneinheiten umzuwandeln (falls notwendig).

Für die Umrechnung in einheitliche Energiemengen dienen die in der DIN 18599-1 befindlichen Umrechnungsfaktoren (**Anlage 1**). Diese beziehen sich auf den Heizwert der unterschiedlichen Energieträger. Die Werte werden ausschließlich in kWh oder m³ angegeben.⁷¹

Zeitkorrektur des witterungsunabhängigen Verbrauchs

Diese Art von Korrektur wird für den Verbrauch der Elektroenergie für Beleuchtung und die Warmwasserbereitung sowie den allgemeinen Wasserverbrauch angewandt. Da die Berechnungsperioden nicht immer vollen Jahren entsprechen, ist es an dieser Stelle möglich, den Verbrauch auch für ein repräsentatives Jahr darzustellen. Die anteiligen Tage können dann über die Betriebszeiten, Feiertage, und Wochenenden in Abhängigkeit des Bundeslandes berechnet werden. Als Hilfestellung dient die hier angegebene Internetseite www.arbeitstage.org. Die Größe t_{standard} kann bei einem Bürogebäude dann nach DIN 18599 (**Anlage 2**) z.B. 250 Tage darstellen.⁷²

Formel 1: Zeitbereinigung

$$Q_{w, \text{berienigt}} = Q_{w, \text{mess}} \cdot \frac{t_{\text{standard}} \text{ (bzw. 365 d/a)}}{t_{\text{mess}}}$$

$Q_{w, \text{berienigt}}$	<i>zeitbereinigter Verbrauch</i>
$Q_{w, \text{mess}}$	<i>Verbrauchswert</i>
t_{standard}	<i>Tabellenwerte</i>
t_{mess}	<i>gemessene Tage</i>

„Der gemessene Verbrauch $Q_{w, \text{mess}}$ wird anhand der Messtage t_{mess} auf die vollen Tage eines Jahres angepasst.“ Die Zeitkorrektur ist dabei völlig unabhängig vom Standort.⁷³

Witterungsbereinigung des Verbrauchs

Der witterungsabhängige Verbrauch ist nur der Verbrauch für die Beheizung des Gebäudes.⁷⁴ Sollte im Gesamtverbrauch der Wärme der Anteil für die Bereitstellung von Warmwasser enthalten sein, ist es an dieser Stelle notwendig, diesen abzuziehen. Das kann überschlägig passieren, in dem die Anzahl der Nutzer mit dem Wärmebedarf für die Bereitstellung von Warmwasser multipliziert werden

⁷¹ DIN 18599 Beiblatt 1, S. 13

⁷² DIN 18599 Beiblatt 1, S. 14

⁷³ DIN 18599 Beiblatt 1, S. 14

⁷⁴ Vgl. Junghans, Antje S. 86

oder über eine flächenbezogene Ermittlung. Eine Aufstellung für den anteiligen Energieverbrauch je Nutzungsart nach DIN 18599-10 befindet sich in **(Anlage 3)**. Der übrige Verbrauch stellt nun nur den eigentlichen Verbrauch für die Beheizung des Gebäudes dar und wird über die Gradtagszahl des Deutschen Wetterdienstes bereinigt (<http://www.dwd.de/gradtagzahlen>). Die Gradtagszahl (GTZ 20/15) ist die Summe der berechneten Temperaturdifferenz aller Heiztage, an denen eine gemessene Außentemperatur, die vorher definierte Heizgrenztemperatur von 15°C (Bestandsgebäude) unterschreitet und eine Innentemperatur von 20°C herrscht. Die Heizperiode verkürzt sich, wenn je nach Dämmzustand des Gebäudes eine Heizgrenztemperatur von 10°C (Passivhaus) oder 12°C (Niedrigenergiehaus) angenommen werden würde.⁷⁵ Um Gebäude überregional zu vergleichen, wird auf die mittlere Gradtagszahl des Standortes Würzburg Bezug genommen. Dieses Verfahren wird nach EnEV 2007 angewandt und ermöglicht es, Gebäude in unterschiedlichen klimatischen Regionen vergleichbar zu machen. Die Witterungsbereinigung wird für den Wärmeverbrauch von 3 Perioden (à 12 Monate) durchgeführt und mit folgender Formel berechnet.⁷⁶

Formel 2: Witterungsbereinigung

$$Q_{h,bereinigt} = Q_{h,mess} \cdot \frac{G_{t,standard}}{G_{t,mess}}$$

$Q_{h,bereinigt}$	<i>witterungsbereinigter Heizverbrauch</i>
$Q_{h,mess}$	<i>gemessener Heizverbrauch</i>
$G_{t,standard}$	<i>mittlere Gradtagszahl</i>
$G_{t,mess}$	<i>gemessene Gradtagszahl des Objektes</i>

⁷⁷

Im weiteren Verlauf werden die Energiebezugsflächen ermittelt. Hier wird speziell auf Leerstandsflächen mit eingegangen. Der Verbrauch für Heizwärme und Strom sollte, wenn Leerstandsflächen existieren, mit dem beschriebenen Verfahren fakturiert werden.

Der Mittelwert des bereinigten Verbrauchs bildet nun die Baseline, mit der der Bedarf verglichen werden kann.

3.2 Energiebezugsflächenermittlung

Sollten aktuelle Planunterlagen des Gebäudes vorliegen sind die Bezugsgrößen: Bruttogrundfläche, Nutzfläche, Bruttorauminhalt, beheiztes Nettovolumen und Gebäudehüllflächen der wichtigsten Bauteile, diesen zu entnehmen. Ist dies, wie in meisten der Fälle nicht vorhanden, erfolgt eine überschlägige Ermittlung der Bezugsflächen über die Längen und Breiten des Gebäudes. Dabei wird das Ge-

⁷⁵ Vgl. URL<<http://www.ikz.de/tool-des-monats/single-view/article/viessmann-planungstool-erleichtert-die-auslegung-e.html>> verfügbar am 07.08.2011

⁷⁶ Vgl. Junghans, Antje; S. 86-87

⁷⁷ Vgl. DIN 18599 Blatt 1, S. 15

bäude, wenn es keiner rechteckigen Form entspricht, unterteilt. Die Längen werden addiert und die Breite wird überschlägig über die Rechtecke gemittelt.⁷⁸

Formel 3: Gebäudelänge

$$L_G = \sum_i L_i \quad (\text{m})$$

L_G Gesamtmaß der Gebäudelänge

L_i einzelne Längen der Rechtecke

Formel 4: Gesamtgebäudebreite

$$B_G = \frac{\sum_i L_i * B_i}{L_G} \quad (\text{m})$$

B_G Gesamtmaß der Gebäudebreite

Die anderen erforderlichen Gebäudegrößen werden mit Hilfe von Bauplänen oder einer Ortsbegehung ermittelt und gliedern sich wie folgt:

- Anzahl der beheizten Geschosse z_G ,
- Geschosshöhe h_G (Oberkante Fußboden bis Oberkante des darüberliegenden Geschosses),
- Fensterflächenanteil (wird abgeschätzt in Bezug auf die Außenhüllfläche, 30, 50 oder 75 %),
- Gebäudehöhe der beheizten Etagen, h_G .

Der Fensterflächenanteil wird benötigt, um die Wärmedämmqualität der Gebäudehülle zu ermitteln. Aus diesem Grund sind auch die Flächen der Außenwände, des Daches und des Kellers notwendig. Um eine genaue Fläche der Fenster zu erhalten sind die Daten der Planunterlagen heranzuziehen. Die folgenden Formeln bilden die Bezugsfläche für die überschlägige Wärmebedarfsberechnung. Die Bezugsflächen für den Stromverbrauch können in manchen Fällen von diesen Flächen abweichen.

Formel 5: Bruttogrundfläche

$$BGF = L_G \cdot B_G \cdot z_G \quad (\text{m}^2)$$

Formel 6: Nutzfläche/Energiebezugsfläche

$$NF = BGF * \text{Faktor} \quad (\text{m}^2)$$

Die Nutzfläche/Energiebezugsfläche kann überschlägig fakturiert werden entweder nach **Anlage 4** oder nach eigener Schätzung. Diese sollte jedoch gut dokumentiert werden. Der Abschnitt zur Erstellung der Baseline ist hiermit abgeschlossen. Die ermittelte Energiebezugsfläche bildet die Grundlage

⁷⁸ Vgl. DIN V 18599-5, Gebäudedimensionierung Anhang B

für die Baseline geht aber auch in die Berechnung zur überschlägigen Energiebedarfsabschätzung mit ein. Nachfolgend werden die Rauminhalte und die Gebäudehüllfläche ermittelt.

Formel 7: Bruttorauminhalt

$$BRI \text{ oder } V = BGF \cdot h_G \text{ (m}^3\text{)}$$

Formel 8: Nettovolumen

$$V_b = BRI \cdot \text{Faktor (m}^3\text{)} \text{ (Der Faktor ist identisch mit dem aus Formel 6)}$$

Formel 9: Gebäudehüllfläche

$$A = A_{DE} + A_{FB} + A_{AW} + A_{FE} \text{ (m}^2\text{)}$$

A_{DE} Fläche der obersten beheizten Geschossdecke. Bei ausgebauten und beheizten Dachböden wird die Dachfläche als Grenze der beheizten Gebäudehülle verwendet

A_{FB} Fläche des untersten beheizten Fußbodens

A_{AW} Fläche der Außenwand

A_{FE} Fläche der Fenster⁷⁹

Leerstandskorrektor

Nach der Berechnung der Nutzflächen oder der Energiebezugsfläche ist es zwingend notwendig, Leerstandsflächen zu berücksichtigen. Dazu wird zunächst ein Leerstandsfaktor gebildet, der wenn er größer oder gleich 0,05 ist, einen Indikator für längeren Leerstand darstellt.

Formel 10: Leerstandsfaktor

$$F_{\text{leer}} = \sum_{I=1} \frac{(A_{\text{leer},i} \cdot t_{\text{leer},I})}{A_{\text{NF}} \cdot t_{\text{gesamt}}}$$

$A_{\text{leer},i}$ Leerstand einer Teilfläche in m²

A_{NF} Energiebezugsfläche

$t_{\text{leer},I}$ Dauer des Leerstandes der Teilfläche i in Monaten

t_{gesamt} zusammenhängender Zeitraum (3 Jahre=36 Monate)

Bei einem Faktor über 0,05 ergibt sich ein Zuschlag für den Verbrauch. Die Bedarfsberechnung geht immer von einer Vollbenutzung aus. Aus diesem Grund wird lediglich auf den Verbrauch ein Zuschlag

⁷⁹ Formeln entnommen und teilweise überarbeitet nach Junghans, Antje S. 90

addiert⁸⁰: Sollten mehrere Leerstandsflächen existieren, sind die einzelnen Leerstandsfaktoren zu errechnen und anschließend aufzusummieren. Der Zuschlag für den Heiz- und Stromenergieverbrauch ergibt sich dann wie folgt:

Formel 11: Zuschlag für den Heizenergieverbrauch

$$\text{Zuschlag für } Q_h = 0,5 \cdot F_{\text{leer}} \cdot Q_{h(\text{bereinigt})}$$

Formel 12: Zuschlag für den Stromverbrauch

$$\text{Zuschlag für } Q_w = F_{\text{leer}} \cdot Q_{w(\text{bereinigt})}$$

3.3 Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten

Das Prozessmodell ist an eine überschlägige Ermittlung des Wärmebedarfs und des Energiebedarfs für Klima, Lüftung und Beleuchtung angelehnt. Im Anschluss soll dieser so weit es möglich ist mit dem Verbrauch verglichen werden und dient als Bezugsgröße bei der Analyse von Modernisierungsmaßnahmen und der Kontrolle der Effizienz in Form von Investitionsmaßnahmen. In das Verfahren gehen keine solaren Wärmegewinne der Außenflächen mit ein. Es wird lediglich die Gebäudehülle und die Bedarfswerte die durch Nutzereinfluss, technische Anlagen in Bezug auf deren Flächen benötigt werden, berechnet. Auch die Wärmeabgabe, die durch elektrische Geräte (Computer, Drucker usw.) entsteht, bleibt an dieser Stelle unberücksichtigt.

Sollte ein Fensterflächenanteil von mehr als 30 % ermittelt werden, ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutz beispielsweise durch Jalousien nach der Begehung zu dokumentieren.⁸¹

Um die Dämmqualität des Gebäudes zu beurteilen, werden die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert oder K-Wert) ermittelt. „Der Wärmedurchgangskoeffizient gibt an, welche Wärmemenge in W pro Sekunde durch 1 m² eines Bauteils übertragen wird.“ Er ist von der Schichtdicke der Dämmung und der eingesetzten Materialien abhängig. Ein niedriger U-Wert ist ein Indikator für ein gut gedämmtes Gebäude.⁸² Die U-Werte der Gebäudeteile des zu bewertenden Objektes werden entweder den aktuellsten Planunterlagen entnommen oder anhand von Bauteiltabellen für Wohngebäude überschlägig ermittelt. Die Wahl des Bauteils sollte dann gut dokumentiert werden. Die durch das Baujahr ermittelten U-Werte stellen den IST-Zustand dar. Der SOLL-Zustand der Optimierung an der Gebäudehülle ist der bestmögliche Wert aus den Tabellen, der eine energetische Modernisierung fordert. Die Tabellen befinden sich im **Anhang 4**.

⁸⁰ Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, S. 14-15

⁸¹ Vgl. Junghans, Antje S. 90

⁸² Vgl. Loos, Lajos; S. 68

Folgende Wärmedurchgangskoeffizienten werden benötigt:

- Wärmebrückenzuschlag (soweit Wärmebrücken oder Fugenundichtigkeit bekannt sind),
- U-Wert der Außenwände,
- U-Wert der obersten Geschossdecke,
- U-Wert des Kellergeschosses oder des letzten Fußbodens, wenn kein Keller existiert,
- U-Wert der Fenster.⁸³

3.4 Ermittlung der Luftwechselrate

Um den Heizenergiebedarf und den Strombedarf für die Kühlung und Lüftung zu bestimmen ist die Luftwechselrate gefordert. Die Luftwechselrate zeigt an, wie oft das gesamte Luftvolumen in einem Raum je Stunde ausgetauscht wird. Zur Berechnung der Luftwechselzahl werden die Anzahl der Personen, die sich im Gebäude aufhalten, sowie das vorhandene Raumvolumen benötigt. Die Luftwechselzahl wird unter Annahme eines erforderlichen Luftvolumens von 40 m³ (Bürogebäude⁸⁴) pro Person und Stunde ermittelt.⁸⁵

Formel 13: Mindestluftwechselrate

$$n = \frac{h_{Jahr} \cdot Anz_{MA}}{V_B \cdot 40}$$

n *Mindestluftwechselrate*
 h_{Jahr} *Jahresvollbenutzungsstunden*
 Anz_{MA} *Anzahl der Mitarbeiter*
 V_B *Nettovolumen*

Sollte die Anzahl der Nutzer unbekannt oder schwer definierbar sein, kann der Luftwechsel wie folgt bestimmt werden. Dieser Vorgang fordert ebenfalls eine genaue Dokumentation.

Formel 14: Luftwechselrate Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage

$$n = n_{nat} + \Delta n$$

Formel 15: Gebäude ohne mechanische Lüftungsanlage

$$n = (n_{Anl} + n_{Rest}) + \Delta n$$

⁸³ [Junghans, Antje; S. 90-91]

⁸⁴ Vgl. DIN 18599-10 S. 25-26

⁸⁵ Vgl. Junghans, Antje; S. 92

Tabelle 1: durchschnittlicher Luftwechsel nach Niedrigenergiebauweise

Luftwechsel, in [h ⁻¹]								
Gebäudenutzungsstyp	Lüftung ohne Lüftungsanlage			Lüftung mit Lüftungsanlage				
	natürlicher Luftwechsel n_{nat}			mechanischer Luftwechsel n_{Anl}			Restluftwechsel n_{Rest}	
	in der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Mittelwert	in der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Mittelwert	bei bestandener Dichtheitsprüfung ($n_{50} \leq 1,0$)	bei nicht bestandener Dichtheitsprüfung
EFH	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
Krankenhaus	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
MFH	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
Verkauf	1,0	0,2	0,5	0,8	0,0	0,3	0,1	0,2
Industrie	1,0	0,2	0,4	0,8	0,8	0,8	0,1	0,2
Verwaltung	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Restaurants	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Schulen	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Bühnen/Säle	0,6	0,2	0,4	0,4	0,0	0,2	0,1	0,2
Bäder	0,5	0,1	0,3	0,4	0,0	0,2	0,1	0,2
Lager	0,4	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2
Sport	0,5	0,1	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	0,2

Die Tabelle gibt eine Auskunft über die Luftwechselrate in Niedrigenergiegebäuden. Informationen über die Baualtersklasse oder zu umfassenden Modernisierungen sind daher unabdingbar. Der dazu addierende Differenzluftwechsel ergibt sich dann je Baualtersklasse. Sollte eine Sanierung auf Passivhausstandart erfolgt sein, ist der Differenzluftwechsel abzuziehen.

Tabelle 2: Differenzluftwechsel nach Baualtersklasse

Baualtersklasse	Differenzen für Luftwechsel Δn , in [h ⁻¹]
"vor 77"	+0,2 ... +0,3
"77-82" und "82-95"	+0,1 ... +0,2
"WSchV"	$\pm 0,0$... +0,1
"NEH" und ggf. "UNEH"	$\pm 0,0$
"PH" und "UNEH"	-0,1 ... +0,0

86

3.5 Ermittlung des Nutzungsabhängigen Energiebedarfs

3.5.1 Energiekosten für Heizung

Um die Heizenergiekosten zu bestimmen, wird die Heizlast berechnet. „Die Heizlast bezeichnet diejenige Wärmemenge die notwendig ist, um einen bestimmten Temperaturzustand (z.B. Raumtemperatur) herzustellen.“ Das Verfahren der DIN EN 12831 zur Ermittlung des Wärmebedarfs löste 2004 die gültige DIN 4701 ab. Baulich sowie physikalisch hat sich bei der Ermittlung nicht viel geändert, nur bei der Verwendung der Begriffe existieren Unstimmigkeiten. Das Verfahren beschreibt die Ermittlung des

⁸⁶ Tabellen aus URL:

<http://www.energieberaterkurs.de/export/sites/default/de/Dateien_Kennwerte/kennwerte_luftwechsel.pdf> verfügbar am 13.09.2011

Wärmebedarfs, der für die Planung einer Heizungsanlage erforderlich ist.⁸⁷ Das hier verwendete Prozessmodell, was eher zur überschlägigen Ermittlung der Heizlast dient, wird auch als Hüllflächenverfahren bezeichnet und ist für die vereinfachte Abschätzung des jährlichen Heizenergiebedarfs geeignet. Die Heizlast wird durch zwei Faktoren bestimmt.

- **Transmissionswärmeleistung:** Fordert die Wärmemenge, die es zulässt, eine Raumtemperatur von 20°C aufrechtzuerhalten, wenn durch Undichtigkeiten an der Gebäudehülle Wärme verloren geht.
- **Lüftungswärmeleistung:** Ist die Wärmemenge, die durch das erforderliche Lüftungsmaß verloren geht.⁸⁸

Formel 16: Heizlast

$$Q_H = (Q_T + Q_L) \cdot \frac{1}{1000} \quad (\text{kW})$$

Q_H Heizlast

Q_T Transmissionswärmeleistung

Q_L Lüftungswärmeleistung

Der Faktor 1/1000 dient zur Umrechnung von W in kW. Um die Heizlast zu bestimmen, muss zunächst die Transmissionswärmeleistung errechnet werden.⁸⁹ Diese ergibt sich durch die vorerst ermittelten U-Werte, die Flächen, die angenommene Temperaturdifferenz und die Gradtage in Abhängigkeit der Gradtagszahlen aus **Anlage 6**.⁹⁰

Beispiel zur Bestimmung der Gradtage :

Betriebszeit der Heizung von:	0	bis	24	Tagesstunden:	24
Betriebstage im Jahr:	250				
Gradtage des Standortes	3300	bei Tagen	365	Stunden	24
8760	3300	Gradtage für ein Jahr			
6000	2260	Gradtage			

Es ergeben sich 2260 Gradtage für den Standort Düsseldorf, wenn die Heizungsanlage 250 Tage im Jahr und 24 h am Tag in Betrieb ist.

Die Temperaturdifferenz wird nach den Normtemperaturen von innen und außen bestimmt und in Kelvin angegeben. (**Anlage 7** und **Anlage 8**)

⁸⁷ Laasch, Thomas; Laasch, Erhard; S. 53

⁸⁸ Junghans, Antje; S. 94

⁸⁹ Junghans, Antje; S. 95

⁹⁰ Zusammenfassung aus Antje Junghans S. 95 und Jörn Krimmling S. 206

Formel 17: Transmissionswärmeleistung

$$Q_T = \sum (A_i \cdot U_i) \cdot \Delta T \cdot G_t$$

Q_T Transmissionswärmeleistung,

A_i Bauteilfläche der einzelnen Bauteile (Außenwand, Fenster usw.),

U_i spezifischer Wärmedurchgangskoeffizient,

ΔT Temperaturdifferenz z.B. innen 20°C und außen -10°C ergeben 30 K,

G_t spezifische Gradtage Anlage 6.

Um ein noch genaueres Ergebnis zu erhalten, ist es möglich die Position der Bauteile zu berücksichtigen. Unter Verwendung von Korrekturfaktoren, die den Transmissionswärmebedarf entweder reduzieren (Wärmeverlust an das Erdreich fK 0,4) oder ihn unverändert lassen (Wärmeverlust direkt nach außen fK 1,0).⁹¹ Eine Tabelle der Korrekturfaktoren nach DIN EN 12831 befindet sich in **Anlage 9**.

Um die Lüftungswärmeleistung zu ermitteln, ist es notwendig, zu wissen welche Größe das Luftvolumen besitzt, was im Raum von innen nach außen transportiert werden muss und welche Wärmemenge erforderlich ist, um die Frischluft auf die gewünschte Innenraumtemperatur zu bringen. Im Rahmen der vereinfachten Ermittlung entspricht das Luftvolumen unserem Netto-Rauminhalt (V_B) der mit der Luftwechselrate (Einheit 1/h) multipliziert werden muss. Das Ergebnis steht für ein benötigtes Luftvolumen in Abhängigkeit der Objektgröße und wird in der Einheit m³/h dargestellt.

Die eigentliche Wärme, die zur Erwärmung der Frischluft benötigt wird, wird zusätzlich von zwei physikalischen Eigenschaften der Luft beeinträchtigt:

- das spezifische Gewicht der Luft von 1,2 kg/m³ (p),
- die Wärmekapazität (c) der Luft von 1000 J/kg K.⁹²

„Die spezifische Wärmekapazität entspricht der Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg eines Stoffes um 1 Kelvin zu erwärmen.“⁹³ Weiterhin ist es wichtig, die Einheit J in Wh umzurechnen in dem man die 1000 J / kg K mit dem Faktor 1/3600 multipliziert und ein Ergebnis einer spezifischen Wärmekapazität von 0,27 Wh/kg K erhält.

An dieser Stelle ist noch zu unterscheiden, ob das Gebäude über eine mechanische Lüftungsanlage verfügt oder manuell belüftet wird. Es ergeben sich zwei unterschiedliche Rechenwege.⁹⁴

⁹¹ [Antje Jungahns S. 96]

⁹² [Antje Jungahns S. 97]

⁹³ Vgl. Lohmeyer; Bergmann; Post, S. 41

⁹⁴ Krimmling, Jörn, S. 212-213

Formel 18: Lüftungswärmeleistung ohne mechanische Lüftung

$$Q_L = n \cdot V_B \cdot p \cdot c \cdot \Delta T \cdot G_T$$

Q_L Lüftungswärmeleistung

n Luftwechselrate

V_B Nettoraumvolumen

p spezifisches Gewicht der Luft 1,2 kg/m³

c spezifische Stoffwärme der Luft 1000 J/kg, bzw. 0,27 Wh/kg K

ΔT Temperaturdifferenz (**Anlage 7-8**)

G_T spezifische Gradtage

Formel 19: Lüftungswärmeleistung mit mechanischer Lüftung

$$Q_L = n \cdot V_B \cdot p \cdot c \cdot (1 - \psi) \cdot G_L \cdot \frac{t_{\text{standart}}}{365}$$

ψ Wärmerückgewinnungsgrad

G_L Lüftungsgradstunden

t_{standart} Betriebstage nach Anlage 2

Wärmerückgewinnungsanlagen besitzen unterschiedliche Wirkungsgrade, z.B. haben Geräte die nach dem Kanalstromprinzip arbeiten einen Wärmerückgewinnungsgrad von fast 90 %. Plattenwärmetauscher erreichen dabei 60 bis 70 %. Der Wärmerückgewinnungsgrad ist das Verhältnis zwischen Abwärme und erwärmter Frischluft. Das heißt, bei einer Temperatur der Abluft von 20°C und einer erreichten Temperatur durch Wärmerückgewinnung von 18°C ergibt sich ein Wärmerückgewinnungsgrad von 90 %.⁹⁵ Die Lüftungsgradstunden **Anlage 10** werden in Kh/a angegeben und errechnen sich in Abhängigkeit der Zulufttemperatur und der Betriebszeit der Lüftungsanlage.

Beispiel:

Betriebszeit: 03:00 – 23:00 Uhr

Zulufttemperatur: 20°C

$G_L = 90762 - 16018 = 74744$ Kh/a

Um die Energiekosten für die Beheizung zu berechnen wird in einem weiteren Schritt die Anlagenaufwandszahl und falls notwendig der Heizwert des verwendeten Energieträgers (bei Ölheizung oder Erdgas) bestimmt und letztendlich mit dem Preis je kW/h multipliziert. Die Anlagenaufwandszahl für die Raumheizung umfasst den Energiebedarf für Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe der Wärme. Sie stellt einen Indikator für die Effizienz der Heizungsanlage in Bezug auf seine Heizkesselart, -leistung, Vor- und Rücklauftemperatur, die Art der Rohsysteme mit der verbunden Qualität der

⁹⁵ Vgl. Hauff; Musielack, S. 208

Rohdämmung und die Übergabe der Wärme in den Raum durch z.B. Radiatoren auf. Es existieren Pauschalwerte für die Ermittlung der Anlagenaufwandszahl für den Wohnungsbestand die im EAM Anwendung finden (**Anlage 11**). Folgende Einflussgrößen sind bei der Wahl der Aufwandszahl zu beachten:

- Art des Kessels bzw. Wärmebereitstellungsverfahren,
- Baualter des Kessels,
- Einschätzung der vorhandenen Wärmedämmung „mäßig“ oder nach HeizAnIV,
- Gebäudenutzung (Einfamilien-, Mehrfamilienhaus),
- Kennwert Q_H je m^2 der Energiebezugsfläche,

Die Zwischenwerte der Anlagenaufwandszahl sollten dann je nach Ergebnis interpoliert werden. Die Wahl der Anlagenaufwandszahl ist eine pauschale Einschätzung, die durch die Größe und die Nutzungsart des Objektes gegebenenfalls abweichen kann.⁹⁶

Der Heizenergiebedarf ist die Menge die jährlich dem Objekt zugeführt werden muss, um die geforderte Innentemperatur zu erhalten und wird nach der Ermittlung der Anlagenaufwandszahl mit folgender Formel berechnet:

Formel 20: Heizenergiebedarf, ggf. Brennstoffbedarf

$$Q_{HEIZENERGIE} = Q_H * e_{EH} \quad (\text{kWh/a})$$

$Q_{HEIZENERGIE}$ jährliche Energiemenge für die Raumheizung

Q_H Heizlast

e_{EH} Endenergie-Anlagenaufwandszahl⁹⁷

Um den Brennstoffbedarf zu erhalten, wird der Heizenergiebedarf durch den überschlägigen Heizwert aus **Anlage 1** dividiert.

3.5.2 Energiekosten für Kälteerzeugung

Die Energiekosten der Kälteerzeugung sind abhängig von der thermischen Energie und der dazu aufwendigen Elektroenergie. Die Menge der Elektroenergie wird durch die Arbeitszahl der Kältemaschine, die spezifische Wärmekapazität der Luft, das Dichteverhältnis der Luft und die Kühlgradstunden bestimmt. Unter Kühlgradstunden versteht man das Produkt, aus der Zahl der Kühlstunden und der Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Außentemperatur und einer bestimmten Zulufttempera-

⁹⁶ [Junghans, Antje, S. 99]

⁹⁷ [Junghans, Antje, S. 100]

tur.⁹⁸ Sie werden nur für den Standort Potsdam dargestellt das heißt Standortbedingte Fehler werden mit einkalkuliert. Die Kühlgradstunden nach **Anlage 13** sind durch die Zulufttemperatur und die Betriebszeit (ähnlich wie im Punkt 4.4.1 der Berechnung der Lüftungsgradstunden) zu ermitteln.

Formel 21: Thermischen Energie der Kühlung

$$Q_{a,K} = G_K \cdot V \cdot n \cdot c \cdot p \cdot (1 - \omega) \cdot t_{\text{standard}} \\ 365$$

$Q_{a,K}$	<i>thermische Energie</i>
G_K	<i>Kühlgradstunden</i>
V	<i>Nettoraumvolumen</i>
n	<i>Luftwechsel</i>
c	<i>spezifische Wärmekapazität der Luft (Stoffwert) = 0,2778 Wh/kg K</i>
p	<i>Dichte der Luft (Stoffwert) = 1,2 kg/m³</i>
ω	<i>Wärmerückgewinnungsgrad – Kälte</i>
d	<i>Anzahl der Betriebstage DIN 18599</i>

Um diese thermische Energie aufzubringen, wird elektrische Energie benötigt die von der Arbeitszahl z.B. einer Kompressionskältemaschine abhängt. Die Arbeitszahl ergibt sich aus den technischen Daten der Kälteanlage und ist das Verhältnis zwischen Kühlleistung und aufgenommener Leistung.

Formel 22: Arbeitszahl der Kältemaschine

$$\varepsilon^a = \frac{Q_{a,K}}{E_{a,K}}$$

ε^a	<i>Leistungsgrad (2...3)</i>
$Q_{a,K}$	<i>thermische Energie</i>
$E_{a,K}$	<i>elektrische Energie der Kälteerzeugung</i>

Formel 23: Elektroenergie der Kälteerzeugung⁹⁹

$$E_{a,K} = \frac{Q_{a,K}}{\varepsilon^a} \cdot \frac{1}{1000} \quad (\text{kWh/a})$$

⁹⁸ Vgl. Recknagel, Sprenger, Schramek, S. 69

⁹⁹ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 213

3.5.3 Energiekosten der Lüftung

Jede Lüftungsanlage benötigt einen gewissen Teil an Strom. „Der Stromanteil ist abhängig vom Druckverlust der im Kanalnetz (ca. 200 ... 300 Pa) und dem Druckverlust der durch interne Apparatwiderstände entsteht (Erhitzer, Kühler, Filter, Mischkammer = ca. 1000 ... 2000 Pa)“. Als weitere Einflussfaktoren ist der durchschnittliche Wirkungsgrad der Ventilatoren, die Nutzungszeit und das Luftvolumen, was in diesem Fall den Nettorauminhalt und die Luftwechselrate entspricht, zu sehen. Der Durchschnittliche Wirkungsgrad liegt im Schnitt bei 50 bis 80 %. Die Elektroenergie für den Lufttransport errechnet sich dann mit folgender Formel:

Formel 24: Elektroenergie für den Lufttransport

$$E_{a,L} = \frac{V_B \cdot n \cdot \Delta p \cdot z}{\eta \cdot 3600s \cdot 1000} \quad (kWh/a)$$

$E_{a,L}$ Elektroenergie für den Lufttransport

V_B Nettorauminhalt

n Luftwechselrate

Δp Gesamtdruckverlust (1200 Pa...2300 Pa)

z jährliche Betriebsstunden der Lüftungsanlage

η Wirkungsgrad der Ventilatoren (0,5 - 0,8)

Der Strombedarf für die komplette Klimatisierung des Gebäudes ist die Summe aus Elektroenergie der Kälteerzeugung und die notwendige Elektroenergie für den Lufttransport.

Formel 25: Elektroenergie der Klimatisierung

$$E_{a,Klima} = E_{a,K} + E_{a,L}$$

$E_{a,K}$ Elektroenergie für Kälteerzeugung

$E_{a,L}$ Elektroenergie für den Lufttransport¹⁰⁰

3.5.4 Energiekosten der Beleuchtung

Die jährlichen Energiekosten der Beleuchtung ergeben sich z.B. aus Angaben des Leistungsverzeichnisses über installierte Leuchtmittel und Leuchten. Die Wattzahlen sind aufzusummieren. Der sich ergebene Anschlusswerte $P_{\text{Beleuchtung}}$ ergibt sich aus der Summe der Wattzahlen und der Bezugsfläche

¹⁰⁰ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 213

für die Beleuchtung. Bei Büroräumen liegen diese in etwa bei 10-25 W/m². Die jährlichen Energiekosten für die Beleuchtung ergeben sich dann mit folgender Formel:

Formel 26: Elektroenergie der Beleuchtung

$$K_{\text{elt, Beleuchtung}} = P_{\text{Beleuchtung}} \cdot t_{\text{a, Bel}} \cdot k_{\text{elt}} \cdot G_{\text{FBel}}$$

$K_{\text{elt, Beleuchtung}}$	<i>jährliche Energiekosten für Beleuchtung in €/a</i>
$P_{\text{Beleuchtung}}$	<i>Anschlusswert der Beleuchtung in kW</i>
$t_{\text{a, Bel}}$	<i>jährliche Brenndauer in h/a</i>
k_{elt}	<i>Elektroenergiepreis in €/kWh</i>
G_{FBel}	<i>Gleichzeitigkeitsfaktor (ca. 0,5 bis 1,0 – Planerangabe)¹⁰¹</i>

Der Gleichzeitigkeitsfaktor (Beleuchtung) wird durch die Planung des Gebäudes bestimmt und gibt an, wie viele Leuchtmittel im Durchschnitt verwendet werden. Er wird daher auch Bedarfsfaktor genannt.¹⁰² Sollte er aus den Planunterlagen nicht hervorgehen, kann an dieser Stelle auf **Anlage 12** Bezug genommen werden. Um die Betriebsstunden pauschal zu bestimmen, dienen die Werte dieser Tabelle oder eine gut begründete eigene Abschätzung.

Tabelle 3: Durchschnittliche Betriebsdauer unterschiedlicher Einrichtungen

Art der Einrichtung (normale Arbeitszeit Mo-Fr)	Betriebsdauer Beleuchtung in h/a
Fabriken (07:30 -19:30)	1100
Büros (07:30 – 19:30)	1000
Schulen (07:30-14:00)	200
Schaufenster (tgl. bis 24:00)	3200
Läden (10:00-19:00)	700

¹⁰³

3.5.5 Energiekosten der EDV

Neben der Energiemenge zur Beleuchtung ist es möglich, eine Abschätzung des Energieanteils für Büro- und Kommunikationstechnik zu bilanzieren. Dazu werden zwei pauschale Annahmen getroffen, wie die Festlegung eines Anschlusswertes von ca. 10 W/m² und einer jährlichen Anschaltdauer in h/a die sich aus der Arbeitszeit berechnet. Die Kosten enthalten den Stromverbrauch für z.B. Drucker, Scanner, Computer usw.. Der Gleichzeitigkeitsfaktor kann der **Anlage 11** entnommen werden. Die pauschalen Energiekosten für Büro- und Kommunikationstechnik ergeben sich dann wie folgt:

¹⁰¹ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 221-222

¹⁰² Vgl. URL: <<http://www.vde-verlag.de/buecher/leseprobe/lese2867.pdf>>, verfügbar am 25.08.11

¹⁰³ Vgl. Laasch, E; Volker, K, S. 293

Formel 27: Elektroenergie für Büro- und Kommunikationstechnik

$$K_{\text{elt,Büro}} = P_{\text{Büro}} \cdot \tau_{\text{a,Büro}} \cdot k_{\text{Elt}} \cdot G_{\text{FBüro}}$$

$K_{\text{elt,Büro}}$	<i>jährliche Energiekosten für Bürotechnik in €/a</i>
$P_{\text{Büro}}$	<i>Anschlusswert der Bürotechnik in kW (ca. 10 W/m²)</i>
$\tau_{\text{a,Büro}}$	<i>jährliche Anschaltdauer in h/a (Berechnung aus Arbeitszeit)</i>
k_{Elt}	<i>Elektroenergiepreis in €/kWh</i>
$G_{\text{FBüro}}$	<i>Gleichzeitigkeitsfaktor (ca. 0,5 bis 1,0) aus Anlage 12</i> ¹⁰⁴

3.5.6 Energiekosten des theoretischen Wasserverbrauchs

Den zukünftigen Wasserverbrauch einer Immobilie aus dem Nichtwohnbereich abzuschätzen ist relativ schwierig und meist fehlerbehaftet.¹⁰⁵ Aus diesem Grund werden Richtwerte herangezogen, die den durchschnittlichen Verbrauch je Gebäudeart analysieren. Der Verbrauch in Bürogebäuden ist relativ niedrig im Vergleich zu Krankenhäusern oder Hotels. Die Tabelle gibt einen Anhaltswert der zur Überprüfung des realen Verbrauchs dienen kann. Die Anzahl der Gebäudenutzer ist eine Variable, die den Wasserverbrauch beeinträchtigt kann, jedoch wird der Wasserverbrauch auch für das Befüllen von Teichanlagen oder Brandlöschanlagen verwendet. Dieser Teil ist leider schwer abschätzbar und geht nicht in die Berechnung mit ein.¹⁰⁶

Formel 28: spezifischer Wasserverbrauch

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = A_{\text{nzNutzer}} \cdot l \cdot t_{\text{standart}}$$

$K_{\text{H}_2\text{O}}$	<i>spezifischer Wasserverbrauch</i>
A_{nzNutzer}	<i>Anzahl der Nutzer</i>
l	<i>Wasserverbrauch</i>
t_{standart}	<i>Tabellenwerte aus Anlage 2</i>

¹⁰⁴ [Krimmling, Jörn, S. 222]

¹⁰⁵ Eigene Erkenntnis, und Anwendung in der Praxis.

¹⁰⁶ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 216

Tabelle 4: durchschnittlicher Wasserverbrauch

Bezeichnung	Wasserverbrauch
Hotel (je Übernachtung)	80 – 150 l/d
Kaufhäuser (je Mitarbeiter)	25 – 50 l/d
Krankenhäuser	
150 bis 300 Betten	250 – 450 l/d und Bett
300 bis 600 Betten	300 – 500 l/d und Bett
600 bis 1000 Betten	400 – 600 l/d und Bett
Verwaltungs- und Bürogebäude (je Mitarbeiter)	20 – 25 l/d

107

3.6 Maßnahmenidentifikation

Die Maßnahmen untergliedern sich in zwei Teilbereiche. Zum einen werden organisatorische Maßnahmen betrachtet und zum anderen Investive Verbesserungsmaßnahmen aufgestellt. Die Maßnahmenidentifizierung der Investiven Modernisierungen errechnet sich durch das Gegenüberstellen vom IST-Zustand zum SOLL-Zustand. Dabei werden die Investitionskosten überschlägig anhand des Baukostenindex oder anderen Regeln der Technik abgeschätzt. Bei den organisatorischen Maßnahmen zeigen sich die Einsparungen, indem man Variablen wie z.B. Gesamtdruckverlust, Luftwechselrate, Nutzungszeiten verändert. Allgemein erklärt sich die Aufstellung laut folgender Abbildung.

Abbildung 11: Maßnahmenaufstellung

Organisatorische Maßnahmen	Investive Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimierung der Gebäudenutzung und Betriebsweise (Nutzungsintensität, Nutzungsdauer, Nutzerverhalten) ■ Nacht- und Wochenendabsenkung ■ Optimierung der Vor- und Rücklauftemperaturen ■ Überwachung und Steuern der Raumtemperaturen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ technische Modernisierungen: Kältemaschinen, Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe, Gebäudeautomation ■ Dämmung der Gebäudehülle an den vier Bauteilen (oberste Geschoss-Decke, Keller, Außenwand)

Für technische Modernisierungen werden Wirkungsgrade, Arbeitszahlen und Aufwandszahlen im IST-Zustand zu einem verbesserten SOLL-Zustand verändert. Die Modernisierung an der Gebäudehülle ergibt sich durch verbesserte Wärmedurchgangskoeffizienten.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Vgl. Laasch, E; Volker, K, S. 427

¹⁰⁸ Vgl. Junghans, Antje, S. 103

3.7 Wirtschaftlichkeitsbeurteilung

Die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung beinhaltet ein Investitionsrechenverfahren, welches zeigt, wann sich das eingesetzte Kapital der Modernisierungsinvestition lohnt. Dazu wird die dynamische Amortisationszeit berechnet. Bei der hier angewandten dynamischen Amortisationsrechnung werden kalkulatorische Kosten und eine Energiepreissteigerung mit beachtet. Die jährlichen Einsparungen stellen die jährlichen Einzahlungen dar und werden mit den kalkulatorischen Kosten abgezinst und der Preissteigerung aufgezinst. Die Faktoren und die kumulierten Einzahlung werden in Tabellen angegeben. Sobald die Investition durch die Einzahlungen 0 ergibt ist die Amortisationszeit erreicht (siehe dazu auch das Beispiel in **Tabelle 15**). Abzinsungsfaktoren und Aufzinsungsfaktoren existieren in Tabellenwerten, lassen sich aber durch folgende Formeln für jedes Jahr berechnen.¹⁰⁹

Formel 29: Abzinsungsfaktor/ Barwertfaktor der Kalkulationszinsen¹¹⁰

$$A_{bF} = \frac{q^n - 1}{q^n \cdot (q - 1)}$$

A_{bF} Abzinsungsfaktor

q Zinsfaktor $(1+i)$ entsprechend dem Zinssatz

n Jahr für das abgezinst wird

Formel 30: Aufzinsungsfaktor der Energiepreissteigerung

$$A_{ufF} = q^n$$

Folgende Auswahlkriterien bei der Durchführung einer Investition sind Bestandteil der Berechnung:

- Der Amortisationszeitpunkt befindet sich noch im Planungszeitraum,
- Der Amortisationszeitpunkt ist kürzer als die max. festgelegte Amortisationszeit¹¹¹

Demzufolge ist die Investition als erstes durchzuführen, die die kürzeste Amortisationszeit beinhaltet. Die Modernisierungsmaßnahmen sind dann unter Abhängigkeit der Amortisationszeit in einer Rangfolge aufzustellen.

¹⁰⁹ Vgl. URL:<<https://www.uni-hohenheim.de/i410a/etcompu/zinsform/zinsform.htm>> verfügbar am 12.09.2011

¹¹⁰ Vgl. Junghans, Antje; S. 57

¹¹¹ Vgl. Huch, Burkhard; Böhme, Thomas; S. 127

4. Praxisanwendung des Energieanalysemodells

Zur Anwendung des Energieanalysemodells wurde ein Bestandsgebäude eines Facility Management Vertrages der Firma Gegenbauer gewählt. Das 1969 errichtete damalige Abgeordnetenhaus wird heute von der Organisation der vereinten Nationen genutzt. Der Name wurde nach dem Vornamen des



damaligen Parlamentspräsidenten Eugen Gerstenmaier ausgewählt und wird heute durch seine beeindruckende Art in der landschaftlichen Umgebung und die Verbindung zu Herrn Gerstenmaier, kurz „Langer Eugen“ genannt.¹¹² Im Jahr 2010 wurde ein Energieverbrauchsausweis mit Verbrauchswerten der Jahre 2007, 2008, 2009 ausgestellt. Hierbei wurde das Gebäude mit der Nutzung nach BWZK „Verwaltungsgebäude mit höherer technischer Ausstattung“ deklariert. Diese Nutzungsart wird nach eigener Interpretation der Pläne und Begehungen von Ort übernommen.¹¹³ Der bestehende Facilitymanagement Vertrag zu diesem Objekt beinhaltet das Thema Energiemanagement und fordert folgende Punkte vom Betreiber ab:

- „Gewerke übergreifende Analyse des Energieverbrauchs,
- ermitteln von Optimierungspotentialen,
- betriebswirtschaftliche Maßnahmenplanung,
- Rentabilitätsberechnungen,
- Umsetzung der Einsparungsmaßnahmen,
- Nachweis der Einsparungen,
- Informationsaustausch zur Prüfung der Energielieferverträge und Medien des AG,
- Ermittlung der Verbrauchsdaten mit Gegenüberstellung der letzten 3 Jahre.¹¹⁴

Die Anwendung des EAM soll diese Vertragsbestandteile erfüllen und den wirtschaftlichen Grad des Betriebes der gebäudetechnischen Anlagen dokumentieren. Dazu sind alle Abschnitte des EAM durchgeführt und hinreichend dokumentiert wurden.

¹¹² Vgl. <http://www.general-anzeiger-bonn.de/freizeitguide/Langer-Eugen--/frei/10212/286> verfügbar am 13.08.11

¹¹³ Energieverbrauchsausweis vom 18.06.2010, erstellt durch BLB NRW, Niederlassung Aachen

¹¹⁴ Vertrag zwischen Gegenbauer und BIMA, Bundesanstalt für Immobilienaufgaben vom 01.02.2011

4.1 Verbrauchserfassung

Im ersten Schritt wurde der Verbrauch durch Zählerwerte erfasst und anhand der Rechnungen des Jahres 2010 kontrolliert. Die Werte aus den Jahren 2008 und 2009 wurden übernommen. Der Verbrauch stellt die Baseline dar, mit der im weiteren Verlauf der Bedarf kontrolliert werden kann.

Tabelle 5: Verbrauchserfassung der Medien Fernwärme, Strom, Wasser

Verbrauchsart	Zeit-raum	2008			2009			2010		
		Verbrauch in kWh	Kosten in €	€/kWh	Verbrauch in kWh	Kosten in €	€/kWh oder m³	Verbrauch in kWh	Kosten in €	€/kWh
Fernwärme	Januar	400.000	25.139	0,06	500.000	37.749	0,08	471.000	31.587	0,07
	Februar	300.000	19.238	0,06	354.000	27.215	0,08	399.000	27.202	0,07
	März	291.430	18.994	0,07	301.000	23.720	0,08	293.000	20.880	0,07
	April	253.000	17.624	0,07	204.000	16.801	0,08	227.000	15.941	0,07
	Mai	80.000	7.307	0,09	100.000	9.549	0,10	217.530	15.471	0,07
	Juni	91.000	7.888	0,09	161.000	13.769	0,09	93.470	8.092	0,09
	Juli	100.000	8.509	0,09	84.000	8.421	0,10	58.000	6.094	0,11
	August	118.000	9.591	0,08	60.000	6.729	0,11	103.000	8.739	0,08
	September	222.000	15.761	0,07	124.000	11.161	0,09	161.000	12.061	0,07
	Oktober	235.000	19.067	0,08	209.000	15.836	0,08	246.000	18.762	0,08
	November	327.000	25.472	0,08	264.000	18.819	0,07	361.000	26.185	0,07
	Dezember	479.000	36.521	0,08	643.000	46.128	0,07	560.000	39.266	0,07
	Summe	2.896.430	211.113	0,08	3.004.000	235.898	0,08	3.190.000	230.278	0,08
Strom	Jahr	4.372.750	555.896	0,13	4.115.950	650.801	0,16	4.089.050	657.560	0,16
Verbrauchsart	Zeitraum	2008			2009			2010		
		Verbrauch in m³	Kosten in €	€/kWh oder m³	Verbrauch in m³	Kosten in €	€/kWh oder m³	Verbrauch in m³	Kosten in €	€/m³
Wasser	Jahr	7.786	12.422	1,60	8.215	13.035	1,5868	9.209	14.642	1,59

Die Preise aus dem Jahr 2010 werden für die weitere Kalkulation verwendet, da diese die Aktuellsten darstellen. Alle Preise sind in Netto angegeben. Die Kosten für Trinkwasser ergeben sich nur aus dem Arbeitspreis, da der Grundpreis nicht variabel ist, wurde dieser vernachlässigt.¹¹⁵

4.2 Witterungs- und Zeitkorrektur des Verbrauchs

Im Weiteren Verlauf fand eine Witterungskorrektur nach DIN 18599-10 statt. Diese bezieht sich nur auf den Verbrauch für die Beheizung des Gebäudes ($Q_{h, mess}$). Problematisch ist hier, dass der Fernwärmewert den Verbrauch für die Erhitzung von Warmwasser enthält und keine gesonderten Zählerwerte existieren. Nach Befragungen des Objektleiters stellte sich raus, dass für das Objekt nur in der Kantine Warmwasser gezapft wird. Nach Beobachtungen und Aussagen der Nutzer wird die Kantine in der 29. Etage nur wenig angenommen. Bei Befragungen des Küchenchefs werden max. 30-70 Menüs am Tag hergestellt. Dies entspricht einem Energieverbrauch zur Warmwasserbereitung nach DIN 18599-10 (Anlage 3) für die Kantine von 3000 bis max. 8000 kWh im Jahr (250 Nutzungstage). In den

¹¹⁵ Erfassung aus Zählerlisten und Rechnungen der vergangen 3 Jahre

Sanitäreinrichtungen wird kein Warmwasser gezapft. In seltenen Fällen sind im Gebäude Untertischgeräte angebracht, die das Wasser erwärmen. Aus diesem Grund ist es nicht notwendig, den Warmwasserverbrauch gesondert zu bewerten. Somit wird der gesamte Wert der Fernwärme einer Witterungsbereinigung unterzogen, wobei die Korrekturfaktoren des Deutschen Wetterdienstes entnommen wurden.¹¹⁶

Tabelle 6: Witterungskorrektur des Fernwärmeverbrauchs

	2008	2009	2010
Verbrauch $Q_{h,mess}$	2896430	3004000	3190000
Klimafaktor	1,25	1,25	1,06 ¹¹⁷
bereinigter Verbrauch	3620538	3755000	3381400
	Verbrauchssumme	10.756.938	in kWh
	Verbrauchsmittel	3585646	in kWh/a

Der Stromverbrauch wurde so aufbereitet, dass bei der Bedarfsberechnung mit den Tageswerten der DIN 18599-10 für Bürogebäude (250) weiter gerechnet werden konnte. Bei den gemessenen Arbeitstagen wurden alle Feiertage abgezogen und 20 Betriebstage für Veranstaltungen die am Wochenende stattgefunden haben kalkuliert.¹¹⁸ Dies brachte folgendes Ergebnis für den witterungsunabhängigen Verbrauch:

Tabelle 7: Korrektur des witterungsunabhängigen Verbrauchs

	2008	2009	2010
Tage DIN 18599 $t_{standard}$	250	250	250
gemessene Tage t_{mess}	273	273	274
Verbrauch Strom (kWh)	4372750	4115950	4089050
zeitbereinigt Strom (kWh)	4004350	3769185	3730885
Verbrauch Wasser (m³)	7786	8215	9209
zeitbereinigt Wasser (m³)	7130	7523	8402
Verbrauchsmittelwert	Strom	<u>3834807</u>	in kWh/a
Verbrauchsmittelwert	Wasser	<u>7685</u>	in m³/a

¹¹⁶ Aussage des Kantinenchefs, Herr Bathi am 15.08.2011

¹¹⁷ Vgl. URL <arch-m.de/info/klimafaktor.html> verfügbar am 26.07.2011

¹¹⁸ Aussagen Facility Manager Herr Siemoneit, Firma Gegenbauer am 31.08.2011

4.3 Erfassung der Energiebezugsflächen



Bei der Ermittlung der Bezugsflächen konnte auf Planunterlagen aus der Modernisierung des Gebäudes von 2006 Bezug genommen werden. Der Rauminhalt für die Berechnung des Luftvolumens bei der Bedarfsermittlung konnte ebenfalls den Bauplanentwurf von 2006 (Jahr der Fertigstellung) entnommen werden.¹¹⁹ Lediglich bei der Ermittlung der Bezugsfläche für die Beleuchtung wurde der am Gebäude befindliche Fluchweg mit Notaufzügen mit einkalkuliert, da dieser tagsüber beleuchtet ist. Die Ermittlung der Nettofläche für den Fluchwegsturm ist überschlägig passiert. Da dieser Teil des Gebäudes jedoch nur max. 4 % der gesamt Bruttofläche ausmacht sind die Abweichungen sehr gering. Die Flächen für die Fenster wurden mit 70 % der Fläche für die gesamten Außenwände angenommen.

Tabelle 8: Korrektur des witterungsunabhängigen Verbrauchs

Bezugsgröße	Formelzeichen	Wert	Einheit
Gebäudelänge	L_G	38,00	m
Gebäudebreite	B_G	34,30	m
Anzahl der beheizten Geschosse	z_G	31	Stk
Gebäudehöhe	H_G	100,00	m
Bruttogrundfläche	BGF	40405,40	m ²
Nettogrundfläche aus Planunterlagen	NGF	30624,00	m ²
Gebäudelänge Gebäudeteil 2	L_G	7,57	m
Gebäudebreite Gebäudeteil 2	B_G	7,57	m
Bruttogrundfläche Gebäudeteil 2 (30 Etagen)	BGF	1719,15	m ²
Nettogrundfläche Gebäudeteil 2 (Faktor 0,87)	NGF	1495,66	m ²
Nettogrundfläche Brücke (30 Etagen)	NGF	226,50	m ²

¹¹⁹ Modernisierungsplanung der Firma Scholze Ingenieurgesellschaft mbH vom 05.06.2003

Nettorauminhalt	<i>NRI</i>	105511,00	m ³
Bezugsfläche Energiekosten	<i>NGF</i>	30624,40	m ²
Bezugsfläche Beleuchtung	<i>NGF</i>	32346,16	m ²

Tabelle 9: Bauteilflächen

Bezeichnung der Fläche	Länge * Breite oder Höhe	Abzug durch Fenster	m ²	Fläche m ²
Außenwand	3800	0,7	2660	1140,00
Außenwand	3800	0,7	2660	1140,00
Außenwand	3430	0,7	2401	1029,00
Außenwand	3430	0,7	2401	1029,00
Decke	1303,4	0	0	1303,40
Keller	1303,4	0	0	1303,40
Fenster	-	-	-	10122,00

4.4 Ermittlung des Heizenergiebedarfs

Die Beheizung des Gebäudes wird über eine automatisch betriebene Fernwärmeheizung gesteuert. Diese läuft 24 h am Tag und nimmt den Betrieb automatisch auf, sobald die Temperaturen unter den Solltemperaturen liegen. Die sich aus **Anlage 6** ergebene Gradtagszahl wurde für 250 Tage und einem Betrieb von 24h anteilig ermittelt und ergab eine Zahl von 2260. Die U-Werte konnten aus den Bauberechnungen der Modernisierung von 2006 entnommen werden.¹²⁰ Bei der damals stattgefundenen Modernisierung wurden die Fassade (mit Dämmung), die Heizungsanlage, und die Lüftungskanäle erneuert. Die Werte, die sich ergeben, sind pauschale Annahmen. Jedoch auf Grund der Interpolation der U-Werte aus den Bauunterlagen wird eine Ungenauigkeit von max. 5 % angenommen. Die Temperaturdifferenz mit 20°C Raumtemperatur und 10° C Außentemperatur nach **Anlage 7** für den Standort Essen angepasst.

Tabelle 10: Ermittlung des Transmissionswärmebedarfs

Bezeichnung der Fläche	Fläche m ²	U-Werte	Temp. Differenz in K	Q _L in W	in kW	Grad-tagszahl	in kW/a
Außenwand	1140	0,46	30	15732			
Außenwand	1140	0,46	30	15732			
Außenwand	1029	0,46	30	14200			
Außenwand	1029	0,46	30	14200			

¹²⁰ Modernisierungsplanung der Firma Scholze Ingenieurgesellschaft mbH vom 05.06.2003

Summe Außenwände				59864	59,86	2260	135310
Decke	1303,4	0,23	30	8993	8,99	2260	20328
Keller	1303,4	0,5	30	19551	19,55	2260	35352
Fenster	10122	1,53	30	464600	464,60	2260	1050123
						Summe	1241113
Korrekturfaktor für die Kellerdecke					0,8		

Das Gebäude wird mit einer mechanischen Lüftungs- und Klimaanlage klimatisiert. Dazu sind die Fenster immer verschlossen. Aus diesem Grund ist es für die Ermittlung des Wärmebedarfs der Lüftungsanlage notwendig, die Lüftungsgradstunden zu berechnen. In dem überwiegenden Teil des Gebäudes wird die Lüftung von 03:00 Uhr bis 22:00 Uhr bei einer Zulufttemperatur von 20°C in Betrieb genommen. Die Lüftungsgradstunden ergeben sich aus 90762 kh/a (22:00 Uhr) – 14922 kh/a (03:00 Uhr). Das Lüftungsvolumen ist der Nettorauminhalt aus den Planunterlagen. Die Luftwechselrate ist anhand der Tabellenwerte auf 2 h⁻¹ für Bürogebäude angenommen wurden. Der Wärmerückgewinnungsgrad ist abhängig von der Temperatur der Abluft¹²¹ und wird pauschal mit 70 % angenommen. Der geforderte Lüftungswärmebedarf ergibt sich wie folgt:

Tabelle 11: Ermittlung des Lüftungswärmebedarf

Bezeichnung	Formelzeichen	Wert
Lüftungsgradstunden	G _l	75840
Lüftungsvolumen m ³	V	105511
Luftwechselrate	n	2
spezifische Wärmekapazität der Luft	c	0,2778
Dichte der Luft	p	1,2
Wärmerückgewinnungsgrad	ω	0,7
Anzahl der Betriebstage im Jahr	d	250
		Q _{lmech}
		1096245808
		in kWh
		1096246

Die Lüftungswärmeleistung und die Transmissionswärmeleistung ergeben dann die Heizwärmeleistung. Dies multipliziert mit der interpolierten Aufwandszahl (**Anlage 11**) e_{p,H} für Fernwärme 1,64 in Abhängigkeit der Quadratmeterkennzahl der Heizwärmeleistung ergibt den geforderten Heizwärmebedarf. Da das Gebäude 2006 umfassend modernisiert wurde und damit auch der Wärmeschutz der Rohleitung, wird die möglichst positivste Aufwandszahl angenommen.¹²²

¹²¹ Vgl. Recknagel; Sprenger; Schramek, S. 1182

¹²² Aussage Facility Manager Herr Siemoneit, Firma Gegenbauer, am 11.08.2011

Tabelle 12: Ermittlung des Heizenergiebedarf

Heizwärmeleistung	Q_H	2337359
je Nettogrundfläche m^2	q_H	76
Anlagenaufwandszahl interpoliert	ϵ_H	1,64
Heizenergiebedarf	$Q_{Heizung}$	3833268

4.5 Ermittlung der Elektroenergie für Kühlung und Lufttransport

Das Gebäude wird automatisch gekühlt und belüftet. Die Kälteleistung als auch die Wärmeleistung wird über Induktionsgeräte in die Räume gebracht. Die Räume sind in unterschiedliche Klimazonen unterteilt, bei denen es möglich ist, die gewünschte Raumtemperatur über Thermostate selbst zu bestimmen. Im ersten Schritt wurde die Elektroenergie für die Kühlung des Gebäudes ermittelt. Dazu war es notwendig, die Kühlgradstunden festzulegen. Die Kühlung wird automatisch von 3 Kältemaschinen in Betrieb genommen. Schon bei einer Zulufttemperatur von 14°C reicht die kleine Kältemaschine nicht aus. Bei einem 24 h-Betrieb der Kühlung und 14°C Zulufttemperatur ergeben sich 10972 Kühlgradstunden im Jahr. Eine Kälterückgewinnung wird in seltenen Fällen in Deutschland eingesetzt. Dabei wird im Kühlfall im Sommer die kältere Abluft zur Kühlung der Außenluft verwendet.¹²³ Im Objekt „Langer Eugen“ wird dieses Verfahren nicht angewendet und daher mit 0 % kalkuliert. Im ersten Schritt wurde die thermische Energie, die zur Kälteerzeugung im Jahr gebraucht wird, berechnet.

Tabelle 13: Ermittlung der thermischen Energie

Kühlgradstunden	G_K	10972
Nettorauminhalt	V	105511
Luftwechsel	n	2
spezifische Wärmekapazität der Luft	c	0,2778
Dichte der Luft	ρ	1,2
Kälterückgewinnung	ψ	0
Anzahl der Betriebstage	t_{standard}	250
Thermische Energie in kWh/a	$Q_{a,K}$	528657

Die zur Erzeugung der thermischen Energie notwendige Elektroenergie wird von der Arbeitszahl oder auch Wirkungsgrad der Kältemaschinen bestimmt. Diese ergibt sich aus der Kühlleistung im Verhält-

¹²³ Vgl. URL: <http://www.ihks-fachjournal.de/files/FJ_PDF/online/Energieeinsparung-in-der-Klimatechnik.pdf> verfügbar am 02.09.11

nis zur aufgenommenen Gesamtleistung. Im Objekt befinden sich 3 Kältemaschinen. Zwei dieser Kältemaschinen stammen aus dem Jahr 1995 oder älter. Bautechnische Unterlagen liegen dazu nicht vor. Um den Bedarf an Kälte in der Sommerzeit zu decken, wurde bei der Modernisierung im Jahr 2006 eine kleine Kältemaschine mit einer Arbeitszahl von 2,63 hinzugefügt. Die beiden älteren Geräte werden daher mit einer noch schlechteren Arbeitszahl kalkuliert und ergeben dann zusammen eine Leistungszahl von 2,2.¹²⁴ Die notwendige Elektroenergie für die Kälteerzeugung ergibt sich dann wie folgt:

Tabelle 14: Elektroenergie der Kühlung

Arbeitszahl ϵ_a	ϵ_a	2,20
Elektroenergie zum Aufbringen der thermischen Energie in kWh	$E_{a,K}$	240298,74

Im weiteren Verlauf wurde der Strombedarf für den Lufttransport nach EAM bestimmt. Die Lüftungsanlage läuft in den Büros von 03:00 Uhr – 22 Uhr an 250 Tagen. Der Gesamtdruck wurde mit einem mittleren Maß pauschal bestimmt und liegt bei 1500 Pa. Die benötigte Elektroenergie für den Lufttransport konnte so in Abhängigkeit der Betriebszeit berechnet werden.

Tabelle 15: Elektroenergie für den Lufttransport

Nettorauminhalt	V	105511
Luftwechsel	n	2
Gesamtdruckverlust	Δp	1500
durchschnittlicher Wirkungsgrad der Ventilatoren	η_{Vent}	0,6
Anzahl der Betriebsstunden	z	4750
Elektroenergie für den Lufttransport für die Betriebszeit in kWh	E_{aL}	696079,51

4.6 Ermittlung der Energiekosten für die installierte Beleuchtung

Die installierten Leuchtmittel und die dazugehörigen Wattzahlen konnten aus dem Leistungsverzeichnis entnommen werden. Somit war es möglich, eine pauschale Annahme zu treffen. Die durchschnittliche Brenndauer der Beleuchtung in Büros wurde anhand der Tabellenwerte für Büroimmobilien kalkuliert. Der Gleichzeitigkeitsfaktor liegt bei Büro und Verwaltungsobjekten zwischen 0,8 und 0,9.

¹²⁴ Planungsunterlagen der Modernisierung 2006

Der hier niedrige Anschlusswert der Innenbeleuchtung ergibt 10,73 W/m² und liegt damit in der unteren Grenze der Normalangaben.¹²⁵

Tabelle 16: Kosten der Beleuchtung

Leuchtmittel	Menge	Watt je Leuchtmittel	Watt
T5 - 14 W	72	14	1008
T5 - 18 W	76	28	2128
T5 - 35 W	295	35	10325
T5 - 49 W	2890	49	141610
T5 - 54 W	91	54	4914
T8 - 18 W	1520	18	27360
T8 - 36 W	150	36	5400
T8 - 36 W	1604	36	57744
TC - 11	25	11	275
TC - L 18 W	88	36	3168
TC - DEL 13 W	2530	26	65780
TC - DEL 18 W	290	18	5220
TC-DEL 26 W	59	26	1534
TC - TEL 26 W	26	26	676
TC - TEL 42 W	35	42	1470
6W LLp	1	6	6
8 W LLp	1	8	8
AGL 75 W	20	75	1500
AGL 100 W	20	100	2000
Röhrenlampe 40 W	187	80	14960
Summe			347086
Anschlusswert P in kW			347,086
Bezugsfläche Beleuchtung			32346
jährliche Brenndauer h/a			1100
Gleichzeitigkeitsfaktor			0,9
Elektroenergiepreis €/kWh			0,16
Stromverbrauch Beleuchtung			343615,14
Kosten der Beleuchtung			55.257 €

¹²⁵ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 221

4.7 Kosten für EDV und Bürokommunikation

Bei der Abschätzung des Stromverbrauchs für EDV und Bürokommunikation wird auf pauschale Anschlusswerte von ca. 10 W/m² Fläche zurückgegriffen.¹²⁶ Diese wurden anhand eines Standardbüros überprüft und es ergab sich eine Abweichung von 5 – 10 %. Die pauschalen Werte sind abhängig von der Anzahl der Nutzer und der Fläche je Nutzer die zur Verfügung steht.

Tabelle 17: Kosten für EDV und Bürokommunikation

P _{Büro} in W/m ²	10	Die Betriebszeit wurde von 07:00- 19:00 Uhr angenommen. Dies ergab 3000 Jahresbenutzungsstunden für 250 Tage. Die Bezugsfläche entspricht der normalen Nettogrundfläche.
Bezugsfläche	30624	
kW	306	
Arbeitstage im Jahr	250	
Arbeitsstunden am Tag	11	
Jahresbenutzungsstunden	3000	
Elektroenergiepreis €/kWh	0,16	
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,8	
Strombedarf Büro in kWh	734985,6	
K _{elt,Büro} €/a	118193	

4.8 Nutzerspezifischer Wasserverbrauch

Um den spezifischen Wasserverbrauch abzuschätzen, sind genaue Werte erforderlich. Diese betreffen Nutzeranzahl, Nutzerzeit. Zudem ist der Verbrauch sehr stark vom Verhalten eines jeden Nutzers abhängig.

Tabelle 18: Nutzerspezifischer Wasserverbrauch

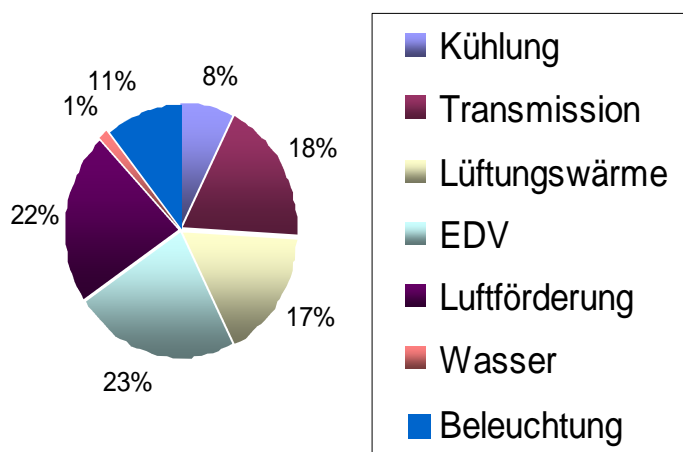
	2008	2009	2010	Die Richtwerte in Bürogebäuden liegen bei 20 – 25 l/Person für einem Tag. Die Anzahl der Nutzer wurde durch Beobachtungen und Abschätzungen des Objektleiters festgelegt, hier liegen jedoch verschiedene Meinungen vor. Die
Nutzer	550	600	650	
Tage im Jahr	250	250	250	
Verbrauch in l/Person	25	25	25	
Jahresbedarf	3437500	3750000	4062500	
in m ³	3437,5	3750	4062,5	
Verbrauchsmittel	7685	7685	7685	

¹²⁶ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 222

Anzahl der Nutzer schwankt für dieses Objekt über das ganze Jahr und es ist schwierig eine Aussage darüber zu machen. Die Abweichungen zeigen sich auch am Vergleich mit dem reellen Verbrauch. Die Anzahl der Nutzer stieg nach Aussage des Objektleiters von Jahr zu Jahr an. Die Kalkulation ergab jedoch immer noch eine Abweichung von 47 %. Der Grund für den erhöhten Wasserverbrauch könnte das notwendige monatliche Spülen der Feuerlöschleitungen und die Bewässerung der Außenanlagen darstellen.

4.9 Aufstellen der Kostentransparenz

Abbildung 12: Kostentransparenz



Die verursachungsgerechte Verteilung der Energiekosten des Objektes stellt sich exemplarisch in diesem Diagramm dar. Es fällt auf, dass der größte Teil für Heizzwecke verbraucht wird. Diese ergeben sich aus Transmissions- und Lüftungswärme. Beim Vergleich einer ähnlichen Untersuchung eines Verwaltungsgebäudes lagen die Abweichungen durchschnittlich bei 3 % in der Aufteilung der Kosten.¹²⁷ Anhand der Abbildung ist erkennbar, wo Ansatzpunkte und Über-

legungen zur Optimierung zuerst untersucht werden sollten. Der nutzerspezifische Anteil für Wasser mit 1 % stellt den geringsten Kostenanteil dar und wird hier bei der Maßnahmenoptimierung weitestgehend gemieden.

4.10 Maßnahmenidentifizierung am Beispiel „Langer Eugen“

Der IST-Zustand des Gebäudes wurde weitestgehend analysiert. In diesem Kapitel werden Einsparpotentiale des vorhandenen IST-Zustandes und des planerischen SOLL-Zustandes dargestellt. Die Maßnahmen unterteilen sich in Investive Maßnahmen im Rahmen einer Modernisierung und Organisatorische Verbesserungsmaßnahmen, bei denen auf den Betrieb der technischen Anlagen und das Nutzerverhalten eingegangen wird.

4.10.1 Investive Maßnahmen

Die Investiven Maßnahmen untergliedern sich in Modernisierungen an der Baukörperhülle oder an den technischen Anlagen. Der sich ergebende Transmissionswärmebedarf wurde mit verbesserten

¹²⁷ Vgl. Krimmling, Jörn, S. 107

Wärmedurchgangskoeffizienten nach **Anlage 5** der einzelnen Bauteile nach Niedrigenergiehausstandard angesetzt. Folgende Annahmen zur Modernisierung wurden getroffen:

- Außenwände mit Betonfertigteilen,
- Flachdach mit 6 cm Dämmung,
- Standardkellerdecke mit 2 cm Trittschalldämmung,
- 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung mit Passivhausrahmen,
- Die Anlagenaufwandszahl bleibt konstant auf Grund der Modernisierung.

Dabei wurden die folgenden Wärmedurchgangskoeffizienten für den SOLL-Zustand definiert:

Tabelle 19: Wärmedurchgangskoeffizienten im SOLL-Zustand.

Bauteil	U-Wert
Außenwand	0,20
Oberste Geschossdecke	0,17
Keller	0,26
Fenster	0,90

Dies ergab einen Gesamtheizenergiebedarf von 2477036,12 kWh. Die Maßnahmenanalyse basiert demzufolge auf die einzelnen Bauteile, z.B. Dämmung der Außenwand, Dämmung der obersten Geschossdecke usw.. Die Differenz der SOLL und IST Beträge zeigt die jährlichen Einsparungen. Als

weitere investive Maßnahme, wird der Stromanteil der zur Kälteerzeugung verwendet wird, näher betrachtet. Das Objekt, wie schon beschrieben, verfügt über 3 Kältemaschinen, bei denen eine bei der Modernisierung 2006 mit einer besseren Arbeitszahl hinzukam. Die Jahresarbeitszahl wird von verschiedenen Faktoren beeinträchtigt wie z.B.:

- das zu verwendete Kältemittel und die dazugehörigen Investitionskosten für den Austausch,
- gewählte Leistung vom Verdampfer und Verflüssiger,
- der Unterkühlung vor dem Expansionsventil,
- der Erwärmung in der Saugleitung,
- der im Neubau der Kältetechnik damals definierte Betriebszustand, falls dieser sich von der heutigen Nutzung abweicht, verändert sich auch die Jahresarbeitszahl,
- die Rohrdimension (zu kleine Rohrquerschnitte mindern die Leistung) usw.¹²⁸

Nach Angaben der Hersteller werden EER-Werte (Energy Efficiency Ratio) von bis 5,1 bis 8,1 angegeben. Dieser Wert ist das Verhältnis zwischen der Leistungsaufnahme (Stromverbrauch) und der Leistungsabgabe (Kühlleistung).¹²⁹ Die letztendliche Jahresarbeitszahl wird ebenfalls durch diese Werte und die genannten Faktoren bestimmt.

¹²⁸ Vgl. Kälte Klima aktuell, Ausgabe 03/2010 Technik, Effizienz von Kälteanlagen verfügbar am 05.09.2011

¹²⁹ Vgl. URL: <www.carrier.de/dasat/index.php?cid=100341&conid=101124> verfügbar am 11.09.2011

Für die Berechnung der Einsparungen werden daher pauschale Annahmen getroffen:

- die zwei älteren Kältemaschinen werden ausgetauscht,
- die Lüftungsanlage bleibt im gleichen Zustand,
- Verwendung eines effizienten Kältemittels (z.B. R404A/R5007)¹³⁰,
- unterstellte Jahresarbeitszahl liegt bei 4,2,

Die pauschale Annahme brachte somit folgende jährliche Einsparung:

Tabelle 20: Vergleich IST- und SOLL-Zustand, jährliche Einsparungen

	IST-Zustand	Soll-Zustand	Einheit	Einsparung in kWh	€/kWh	jährliche Einsparungen in €
Arbeitszahl ϵ_A	2,20	4,20				
Elektroenergie für therm. Energie	240298,74	125870,77	kWh/a	114427,97	0,16	18.401,16 €
Elektroenergie für Lufttransport	696079,51	696079,51	kWh/a	0,00	0,16	0,00 €
				Summe		18.401,16 €

Die Investitionskosten ergeben sich durch mehrere Regelwerke und eigener Überprüfung und Abschätzung. Die Modernisierung in Form einer Dämmung der Gebäudehülle bezieht sich nur auf jedes einzelne Bauteil (Geschossdecke, Außenwand, usw.).

Tabelle 21: Aufstellung der Investitionskosten

	Bauteilfläche in m ²	Kostenkennwert €/m ²	Investitionskosten
Außenwand	4338	50,00 €	216.900,00 €
oberste Geschossdecke	1303,4	20,00 €	26.068,00 €
Keller	1303,4	20,00 €	26.068,00 €
Fenster	10122	400,00 €	4.048.800,00 €
Wärmeversorgungsanlagen	40405,40	40,00 €	1.616.216,00 €
Ersatz der Kältemaschinen	kW	€/kW Leistung	Investitionskosten
Kältemaschinen Anlagen	616	350,00 €	229.800,00 €

¹³¹

¹³⁰ Vgl. Magazin, Kälte Klima aktuell, Ausgabe 03/2010 Technik, Effizienz von Kälteanlagen verfügbar am 05.09.2011

¹³¹ Investitionskosten aus Junghans, Antje, S. 116 und Recknagel, Sprenger, Schramek, S. 1644

Um die Effizienz einer solchen Investition zu beurteilen, wird die dynamische Amortisationszeit mit Kalkulationszinsen von 5 % und einer Energiepreissteigerungsrate von 7,8 %¹³² angenommen. Die Berechnung der dynamischen Amortisationszeit für die Modernisierung der 2 Kältemaschinen ist hier als Beispielrechnung angegeben. Die Einzahlung stellen die jährlichen Einsparungen dar.

Tabelle 22: Dynamische Amortisationsrechnung der Kältemaschinen

Modernisierung		Kältemaschine, Lüftung		Betrachtungszeit- raum (Jahre)	15
Anschaffungskosten A ₀ :		229.800,00 €		Kalkulationszins	5%
Einzahlung		18.401,16 €		Energiepreis- steigerung	8%
Nutzungsdauer (Jahre)		15			
n	Abzinsungs- faktor (Kalkula- tionszinsen)	Aufzinsungs- faktor Energie- preissteigerung	Einzahlung	Barwert	Inv. + kummu- lierte Barwerte
					-229.800,00 €
1	0,95238	1,07800	18.401,16 €	18.891,86 €	-210.908,14 €
2	0,90703	1,16208	18.401,16 €	19.395,64 €	-191.51250 €
3	0,86384	1,25273	18.401,16 €	19.912,86 €	-171.59964 €
4	0,82270	1,35044	18.401,16 €	20.443,87 €	-151.15578 €
5	0,78353	1,45577	18.401,16 €	20.989,04 €	-130.16674 €
6	0,74622	1,56932	18.401,16 €	21.548,74 €	-108.61799 €
7	0,71068	1,69173	18.401,16 €	22.123,38 €	-86.494,62 €
8	0,67684	1,82369	18.401,16 €	22.713,33 €	-63.781,28 €
9	0,64461	1,96593	18.401,16 €	23.319,02 €	-40.462,26 €
10	0,61391	2,11928	18.401,16 €	23.940,86 €	-16.52139 €
11	0,58468	2,28458	18.401,16 €	24.579,29 €	8.057,89 €
12	0,55684	2,46278	18.401,16 €	25.234,74 €	33.292,63 €
13	0,53032	2,65487	18.401,16 €	25.907,66 €	59.200,29 €
14	0,50507	2,86195	18.401,16 €	26.598,53 €	85.798,82 €
15	0,48102	3,08519	18.401,16 €	27.307,83 €	113.106,65 €
Amortisationszeit		10	Jahre und	245	Tage

Positive Einzahlungen nach der Ermittlung der dynamischen Amortisationszeit ergeben sich bei den investiven Maßnahmen nach folgenden Jahren. Danach kann die Reihenfolge der Modernisierungsmaßnahmen festgelegt werden.

¹³² Vgl. http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/Vortraege/Plenum_3/004_-_Wirtschaftlichkeit_-_Eichener.pdf verfügbar am 05.09.2011

Tabelle 23: Reihenfolge der Modernisierungsmaßnahmen

Bauteil	dynamische Amortisationszeit	Reihenfolge der Maßnahmen
Außenwand	14 Jahre, 356 Tage	3
oberste Geschossdecke	15 Jahr 200 Tage	4
Keller	9 Jahr 159 Tage	1
Fenster	keine Amortisation in 15 Jahren	k.A.
Wärmeversorgungsanlagen	keine Amortisation in 15 Jahren	k.A.
Kältemaschinen	10 Jahre und 245 Tage	2

4.10.2 Organisatorischen Maßnahmen

Grundsätzlich kann man die organisatorischen Maßnahmen, in Maßnahmen die sich an den Betreiber wenden und Maßnahmen die auf den Nutzer abzielen, untergliedern. Der Nutzer bei dieser Art von Gebäude steht in anonymer Sichtweise zum Energieverbrauch. Sein Interesse an Energiesparmaßnahmen ist nicht das Gleiche, wie das Interesse in der eigenen Wohnimmobilie. Hier kann lediglich durch Motivation zum effizienten Umgang des Energieverbrauchs ein Beitrag geleistet werden. Der Einsatz von Gebäudeautomation in Form von Lichtregelung, Verschattung der Fenster oder auch Lüftungsregelung ist an dieser Stelle sinnvoll.¹³³ Beispielsweise kann das schließen der Bürotüren schon effiziente Ergebnisse bringen. Weitere Beispiele wären:

- absenken der Vorlauftemperatur der Heizungsanlagen im Bezug auf den Wetterbericht oder dauerhaft,
- Absenkung der Raumsolltemperaturen, Thermostatbegrenzungstemperatur bis max. 23 °C,
- definieren von Nutzungszeiten und Nichtnutzungszeiten,
- Laufzeiten der Lüftungsanlagen verkürzen,
- Reinigung der Leuchtmittel, mit eventuellem Austausch durch LED-Leuchtmittel,
- Beleuchtungsstärken und –zeiten anpassen,
- Stand-by-Zeiten von Bürogeräten anpassen bzw. verringern,
- Überprüfung der Mindestluftwechselrate in Abhängigkeit der Nutzerzahl
- Reinigung von Wärmeerzeugern und Wärmeüberträgern,
- verschmutzte Filter austauschen, um den Wirkungsgrad zu erhöhen,¹³⁴
- Austausch des veralteten Kältemittels durch dein Kältemittel mit geringem Druckanstieg, dadurch wird weniger Antriebsenergie vom Verdichter benötigt, um eine gleiche Leistung zu erbringen (Weniger Aufwand gleicher Nutzen).¹³⁵

¹³³ [Krimmling, Jörn; S. 109]

¹³⁴ [Krimmling, Jörn S. 109-110]

¹³⁵ Vgl. Magazin, Kälte Klima aktuell, Ausgabe 03/2010 Technik, Effizienz von Kälteanlagen verfügbar am 05.09.2011

Schon alleine das Ausschalten der Heizungsanlage in Nichtnutzungszeiten oder in der Nacht von 3 Stunden täglich, kann eine Einsparung von ca. 19000 € jährlich erwirtschaften. Auch das Reinigen der Lüftungsanlagenfilter, die sich in einem schlechten Zustand befinden, erhöht den Wirkungsgrad der Ventilatoren.¹³⁶ Angenommen der Wirkungsgrad der Ventilatoren erhöht sich um 20 %, dann würden die jährlichen Einsparungen bei fast 28000 € liegen. Die organisatorischen Maßnahmen sind jedoch mit dem Nutzer zu besprechen und vor allem testweise zu planen.

5. Resümee

Die Energieeffizienz von Immobilien gewinnt immer mehr an Aufmerksamkeit. Neben der Globalisierung und der Kapitalmarktorientierung wird sie als dritter Megatrend die Immobilienmärkte der Zukunft bestimmen. Durch Ressourcenknappheit und erhöhte Energiepreise fordert dieses Thema Handlungsdruck.¹³⁷ Aus diesem Grund ist die Nachfrage an Energiemanagementdienstleistungen gestiegen. Die Ausarbeitung des EAM soll für kurze Reaktionszeiten und als Unterstützung zur Findung von effizienten Maßnahmen stehen. Das Modell beschäftigt sich mit den Einflussfaktoren des Energieverbrauchs und den Gewerken Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Wasser, um ganzheitliche Strategien zur Verbesserung zu finden. Mit wenigen Informationen und geringem Zeitaufwand ist es möglich, investive und organisatorische Maßnahmen zu entwickeln und diese anhand einer Investitionsrechnung auf ihre Wirtschaftlichkeit zu untersuchen. Die Anwendung des Prozessmodells auf das in Bonn befindliche Gebäude „Langer Eugen“ stellt ein Beispiel dar, über welchen Inhalt Energiekonzepte in Zukunft erweitert werden sollten. Es wurden speziell für dieses Objekt Maßnahmen gefunden, um die Heizkosten und auch den hohen Stromverbrauch zu senken. Dazu waren intensive Begehungen, Befragungen der Objektleiter und Nutzer und vor allem Vertragsprüfungen im Hinblick auf Energiemanagement notwendig.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die energetische Beurteilung in Hinblick des Betreibens einer Immobilie nicht sinnvoll an Vergleichswerten von anderen Immobilien herangezogen werden kann. Da Aspekte, wie Nutzung, Baualter, technische Anlagen, Bezugsflächen usw. nicht sinnvoll vereinheitlicht werden können. Die Vergleichswerte sind Richtwerte, die im Zuge einer Modernisierung auf den neusten Stand der Technik erreicht werden sollten. Besonders positive Kennzahlen stellen eine sehr gute Performance des Gebäudes dar.

Die Forschung für dieses Modell ist noch nicht abgeschlossen. Die Informationsdefizite, vor allem in Nichtwohnbestand, beziehen sich auf die Baukonstruktion, die hier nach den U-Werten für den Wohngebäudebestand zur Ermittlung empfohlen werden. Die Verfügbarkeit von Pauschalwerten zur energetischen Bewertung nach Baualtersklassen und typischen Nutzungsarten könnten hier eine Verbes-

¹³⁶ Erkennung durch Begehung der Lufttechnischen Anlagen. Datum 12.08.2011

¹³⁷ [Esser, Bernd, S. 56]

serung darstellen.¹³⁸ Es ist von Vorteil, sich schon bei der Inbetriebnahme eines Facility Managementvertrages entsprechende Planunterlagen zum Durchführen des EAM einzuholen. Des Weiteren wurden regenerative Energien erwähnt, jedoch existiert noch keine Berechnungsmöglichkeit, diese im EAM einzupflegen. Energien, wie z.B. durch Solaranlagen, Photovoltaik, Windenergien stellen für die Zukunft eine Erweiterung des EAM dar. Das entwickelte Modell ist so gestaltet, dass es für ein breites Spektrum von Nutzungsarten Anwendung finden kann. Die Erprobung des Modells an Immobilien, welche nicht auf die Nutzungsart von Büro- und Verwaltungsgebäuden beruht, stellt in diesem Bereich ebenfalls eine interessante Ergänzung dar. Eine weitere sinnvolle Überlegung ist es, die Funktion in ein bestehendes CAFM-System einzubinden. Dabei ist auf die Benutzerfreundlichkeit zu achten. Die Zielgruppe für diese Funktion stellen Objektleiter, Facility Manager, Energieberater und Techniker dar.

Modernes Energiemanagement fordert Teilprozesse, wie Aufzeichnen, Analysieren, und Bewerten des bestehenden Energieverbrauchs mit Hilfe von Informationstechnologien und das realisieren von Optimierungspotentialen.¹³⁹ Diese Forderungen sind mit Hilfe dieser Arbeit umsetzbar.

¹³⁸ [Junghans, Antje, S. 149-150]

¹³⁹ Vgl. Althaus Roland, Zusammenfassung

6. Anlagen

Anlage 1: Energiegehalt der Energieträger

Energieträger	Mengen- einheit	Heizwert H_I	Brennwert H_S	Verhältnis Brennwert/ Heizwert	Hinweise
Heizöl leicht	l	etwa 10,0 kWh/l	etwa 10,6 kWh/l	1,06	–
Heizöl schwer	kg	etwa 10,9 kWh/kg	etwa 11,6 kWh/kg	1,06	–
Erdgas H (Erdgas E)	m ³	etwa 10,4 kWh/m ³	etwa 11,5 kWh/m ³	1,11	Energiegehalt des Lieferanten verwenden
Erdgas L (Erdgas LL)	m ³	etwa 8,9 kWh/m ³	etwa 9,8 kWh/m ³	1,11	
Stadtgas	m ³	etwa 4,5 kWh/m ³	etwa 5,0 kWh/m ³	1,11	
Flüssiggas	kg	etwa 13,0 kWh/kg	etwa 14,2 kWh/kg	1,09	
Steinkohle	kg	etwa 8,8 kWh/kg	etwa 9,0 kWh/kg	1,02	–
Braunkohle	kg	etwa 5,5 kWh/kg	etwa 5,9 kWh/kg	1,07	–
Koks	kg	etwa 8,0 kWh/kg	etwa 8,3 kWh/kg	1,04	–
Holz	kg	etwa 4,1 kWh/kg	etwa 4,4 kWh/kg	1,08	für luftgetrocknetes Holz
Holzpellets	kg	etwa 5,0 kWh/kg	etwa 5,4 kWh/kg	1,08	–
Holzhack- schnittzel	SRm	etwa 650 kWh/SRm	etwa 700 kWh/SRm	1,08	bezogen auf Schüttraummeter
Nah- und Fernwärme	kWh	–	–	1,00	Umrechnung nicht erforderlich
Strom	kWh	–	–	1,00	

140

¹⁴⁰ DIN 18599-Beiblatt 1 Tabelle 2, S. 14

Anlage 2: DIN 18599, Jahresnutzungszeiten

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd.- Nr.	Nutzungen	Nutzungs- und Betriebszeiten								
		Nutzung Beginn	Nutzung Ende	tägliche Nutzungsstunden	jährliche Nutzungstage	jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit	jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit	tägliche Betriebsstunden RL T und Kühlung ^g	jährliche Betriebsstage für jeweils RL T, Kühlung und Heizung ^c	tägliche Betriebsstunden Heizung
		–	–	$t_{\text{Nutz,d}}$	$d_{\text{Nutz,a}}$	t_{Tag}	t_{Nacht}	$t_{\text{v,op,d}}$	$d_{\text{op,a}}$	$t_{\text{h,op,d}}$
		Uhr	Uhr	h/d	d/a	h/a	h/a	h/d	d/a	h/d
1	Einzelbüro	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
3	Großraumbüro (ab sieben Arbeitsplätze)	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
4	Besprechung, Sitzung, Seminar	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
5	Schalterhalle	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
6	Einzelhandel/Kaufhaus	08:00	20:00	12	300	2999	601	14	300	14
7	Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) ^h	08:00	20:00	12	300	2999	601	14	300	14
8	Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)	08:00	15:00	7	200	1398	2	9	200	9
9	Hörsaal, Auditorium	08:00	18:00	10	150	1409	91	12	150	12
10	Bettenzimmer	00:00	24:00	24	365	4407	4353	24	365	24
11	Hotelzimmer	21:00	08:00	11	365	755	3260	24	365	24
12	Kantine	08:00	15:00	7	250	1748	2	9	250	9
13	Restaurant	10:00	00:00	14	300	2404	1796	16	300	16
14	Küchen in Nichtwohngebäuden ^a	10:00	23:00	13	300	2404	1496	15	300	15
15	Küche – Vorbereitung, Lager ^a	10:00	23:00	13	300	2404	1496	15	300	15
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden ^a	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
17	Sonstige Aufenthaltsräume ^a	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
18	Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume) ^a	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
19	Verkehrsflächen ^{a, b}	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
20	Lager, Technik, Archiv ^{a, b}	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	13
21	Serverraum, Rechenzentrum	00:00	24:00	24	365	4407	4353	24	365	24
22	Werkstatt, Montage, Fertigung	07:00	16:00	9	250	2192	58	11	250	11
23	Zuschauerbereich (Theater und Veranstaltungsbauten)	19:00	23:00	4	250	55	946	6	250	6
24	Foyer (Theater und Veranstaltungsbauten)	19:00	23:00	4	250	55	946	6	250	6
25	Bühne (Theater und Veranstaltungsbauten)	13:00	23:00	10	250	1253	1247	12	250	12
26	Messe / Kongress	09:00	18:00	9	150	1260	90	11	150	11
27	Ausstellungsräume und Museum mit konservatorischen Anforderungen	10:00	18:00	8	250	1850	151	24	365	24
28	Bibliothek – Lesesaal	08:00	20:00	12	300	2999	601	14	300	14
29	Bibliothek – Freihandbereich	08:00	20:00	12	300	2999	601	14	300	14
30	Bibliothek – Magazin und Depot	08:00	20:00	12	300	2999	601	14	300	14
31	Turnhalle (ohne Zuschauerbereich)	08:00	23:00	15	300	3002	1498	17	300	17
32	Parkhäuser (Büro- und Privatnutzung)	07:00	18:00	11	250	2543	207	13	250	–
33	Parkhäuser (öffentliche Nutzung)	09:00	00:00	15	365	3290	2185	17	365	–

141

¹⁴¹ DIN 18599-10, Tabelle 4

Anlage 3: Richtwerte des Nutzenergiebedarfs für Trinkwarmwasser in Nichtwohngebäuden

Nutzung	Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser $q_{w,b,d}^{a,b}$		Bezugsfläche ^c	Anzahl der Spitzenzapfungen am Tag n_{sp}
	nutzungsbezogen	flächenbezogen		
Bürogebäude	0,4 kWh je Person und Tag	30 Wh/(m ² · d)	Bürofläche	1
Bettenzimmer / Krankenhaus	8 kWh je Bett und Tag	530 Wh/(m ² · d)	Bettenzimmer	1
Schule ohne Duschen	0,5 kWh je Person und Tag	170 Wh/(m ² · d)	Klassenräume	1
Schule mit Duschen	1,5 kWh je Person und Tag	500 Wh/(m ² · d)	Klassenräume	2
Einzelhandel / Kaufhaus	1 kWh je Beschäftigte und Tag	10 Wh/(m ² · d)	Verkaufsfläche	1
Werkstatt, Industriebetrieb (für Waschen und Duschen)	1,5 kWh je Beschäftigte und Tag	75 Wh/(m ² · d)	Werkstatt-/ Betriebsfläche	2
Hotel einfach	1,5 kWh je Bett und Tag	190 Wh/(m ² · d)	Hotelzimmer	2
Hotel mittel	4,5 kWh je Bett und Tag	450 Wh/(m ² · d)	Hotelzimmer	2
Hotel Luxus	7 kWh je Bett und Tag	580 Wh/(m ² · d)	Hotelzimmer	2
Restaurant, Gaststätte	1,5 kWh je Sitzplatz und Tag	1250 Wh/(m ² · d)	Gastraum	1
Heim	3,5 kWh je Person und Tag	230 Wh/(m ² · d)	Zimmer	2
Kaserne	1,5 kWh je Person und Tag	150 Wh/(m ² · d)	Zimmer	2
Sportanlage mit Dusche	1,5 kWh je Person und Tag	–	–	1
Gewerbeküchen ^d , Kantine	0,4 kWh je Menü	–	–	1
Bäckerei ^d	5 kWh je Beschäftigte und Tag	–	–	1
Friseur ^d	8 kWh je Beschäftigte und Tag	–	–	1
Fleischerei mit Produktion ^d	18 kWh je Beschäftigte und Tag	–	–	1
Wäscherei ^d	20 kWh je 100 kg Wäsche	–	–	1
Brauerei ^d	15 kWh je 100 l Bier	–	–	1
Molkerei ^d	10 kWh je 100 l Milch	–	–	1

142

Anlage 4: Faktoren zur Ermittlung der Bezugsfläche

Ziffer nach BWZK	Gebäudekategorie	Umrechnungsfaktoren $f_{\text{Fläche}}^{\text{für } 6}$			
		A_{HNF}	A_{NF}	A_{NGF}	A_{BGF}
1100	Parlamentsgebäude	1,97	1,54	1,00	0,85
1200	Gerichtsgebäude	1,68	1,41	1,00	0,83
1300	Verwaltungsgebäude	1,71	1,40	1,00	0,85
1312	Ämtergebäude	1,64	1,38	1,00	0,84
1315	Finanzämter	1,62	1,41	1,00	0,85
1320	Verwaltungsgebäude mit höherer technischer Ausstattung ⁷	1,75	1,33	1,00	0,86
1340	Polizeidienstgebäude	1,78	1,38	1,00	0,84
1342	Polizeiinspektionen, Kommissariate, Kriminalämter, Reviere	1,76	1,40	1,00	0,83
1350	Rechenzentren	1,73	1,54	1,00	0,88
2000	Gebäude für wissenschaftliche Lehre	1,74	1,56	1,00	0,88
2100	Hörsaalgebäude	1,91	1,64	1,00	0,88
2200	Institutsgebäude für Lehre und Forschung	1,70	1,54	1,00	0,89
2210	Institutsgebäude I ⁸	1,70	1,50	1,00	0,88
2220	Institutsgebäude II ⁸	1,66	1,49	1,00	0,88
2230	Institutsgebäude III ⁸	1,63	1,49	1,00	0,90

143

¹⁴² DIN 15899-10, Tabelle 6

¹⁴³ Regeln für Energieverbrauchskennwerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, S. 20

Anlage 5: Ermittlung der U-Werte

Wärmebrücken müssen grundsätzlich berücksichtigt werden. Dabei kann wahlweise einer der in Tabelle 4 beschriebenen Wege beschriftet werden.

Tabelle 4: Berücksichtigung von Wärmebrücken

1. Objektbezogene Berechnung	
Berechnung nach DIN EN ISO 10211-2 mit Hilfe der ψ -Werte für Wärmebrücken an:	
<ul style="list-style-type: none">- Gebäudekanten- Fenstern und Türen (Laibungen umlaufend)- Wand- und Deckeneinbindungen- Deckenauflagern- Balkonplatten	
2. Pauschalwerte (Wärmebrückenzuschlag auf die gesamte thermische Hülle)	ΔU_{WB}
a) im Regelfall	0,1 W/(m²K)
b) bei Sanierung der Außenwand mit innenliegender Dämmschicht*	0,2 W/(m²K)
c) bei energetischer Sanierung unter Berücksichtigung von DIN 4108 Beiblatt 2	0,05 W/(m²K)

*) gilt, wenn mehr als 50% der Fassade mit Innendämmung versehen wird

Tabelle 5:
Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten
von Außenwänden

Baujahr	Urzustand						Modernisierung							
	Bauart ein- und mehrschalige Außenwände		typisches Vorkommen			Pauschal- U-Wert in W/(m²K)		mit Außendämmung nach EnEV § 8		mit Innendämmung (erhaltene Fassade oder Grenzbebauung)				
			EFH	MFH	GMH/HH			Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)	Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)	Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)	
bis 1918	Mauerwerk	Ziegel- oder Bruchsteinmauer ca. 40 cm		X	X		2,2*		10 cm	0,34	20 cm	0,18	8 cm	0,41
	Fachwerk	Holzfachwerk mit Lehmaus- fachung		X	X		2,0*		10 cm	0,33	20 cm	0,18	8 cm	0,40
1880 bis 1948	Mauerwerk	Ziegel- mauerwerk 25 - 35 cm		X	X	X	1,7*		10 cm	0,32	16 cm	0,22	8 cm	0,39
	Mauerwerk verbessert	einschalig 35 - 51 cm oder zweischalig		X	X		1,4*		nur Kern- dämmung vorgeschrie- ben ca. 8 cm	0,45	16 cm	0,21	8 cm	0,37
1949 bis 1968	leichtes Mauerwerk	Hohlblock- mauer, Gitterziegel, Gasbeton		X	X		1,4*		10 cm	0,31	16 cm	0,21	8 cm	0,37
	Bims- vollsteine			X	X		0,9		8 cm	0,32	16 cm	0,20	8 cm	0,32
1969 bis 1978	leichtes Mauerwerk	Porenziegel mit Normal- maße		X	X		1,0		8 cm	0,33	16 cm	0,20	8 cm	0,33
	Beton- fertigteile	Dreischicht- oder Leichtbeton- platte			X	X	1,1		8 cm	0,34	16 cm	0,20	8 cm	0,34
	Fertighaus Holzbau- weise	Holzständer- wand mit 6cm Dämmung		X			0,6		6 cm	0,32	12 cm	0,21	8 cm	0,27
1979 bis 1983 1. WSchV	leichtes Mauerwerk	Leichte Hoch- lochziegel mit fest. Mörtel		X	X		0,8		8 cm	0,31	16 cm	0,19	8 cm	0,31
	Porenbeton			X	X		0,6		8 cm	0,32	12 cm	0,21	8 cm	0,27
	Beton- fertigteile	Dreischicht- oder Leichtbeton- platte			X	X	0,9		8 cm	0,32	16 cm	0,20	8 cm	0,32
	Fertighaus Holzbau- weise	Holzständer- wand mit 6cm Dämmung		X			0,5		4 cm	0,33	12 cm	0,20	8 cm	0,25
1984 bis 1994 2. WSchV	Standard	Leichte Hoch- lochziegel mit fest. Mörtel		X	X		0,6		6 cm	0,32	12 cm	0,21	8 cm	0,27
	Porenbeton			X			0,5		4 cm	0,33	12 cm	0,20	8 cm	0,25

Erläuterungen

EFH = Einfamilienhäuser / MFH = Mehrfamilienhäuser / GMH = große Mehrfamilienhäuser / HH = Hochhäuser




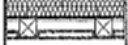

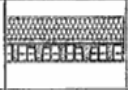
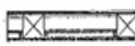



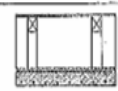
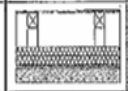




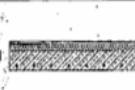



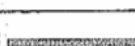

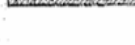

Die unter "Modernisierung" aufgeführten U-Werte dürfen nur angesetzt werden, wenn die angegebenen Dämmstoffstärken tatsächlich erreicht oder überschritten werden.

Angaben der Dämmstärke beziehen sich auf Materialien der Wärmeleitgruppe WLG 040

*) Im Fall nachträgl. angebrachter Dämmplatten mit mindestens 2 cm Stärke oder bei mind. 4 cm dick aufgebrachtem Dämmputz kann ein Pauschal-U-Wert von 1,0 W/(m²K) angesetzt werden.

Institut Wohnen und Umwelt - Dezember 2003

Tabelle 6:
Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten
von obersten Geschossdecken und Flachdächern

	Baujahr	Urzustand					Modernisierung						
		Bauart oberste Geschossdecken bzw. Korbalkendecken gegen unbeheizten Dachraum und Flachdächer	typisches Vorkommen			Pauschal- U-Wert in W/(m²K)	nach EnEV § 8		auf Niedrigenergie- haus-Standard				
			EPH	MFH	GMH/JHH		Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)	Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)			
zusätzliche Dämmung Annahme: vorhandene Dämmschichten sind intakt und verbleiben in/auf der Konstruktion													
oberste Geschossdecken und Flachdächer	bis 1918	oberste Geschoss- decke	Holzbalken- decke mit Strohlehm- wickel		X	X		1,0		10 cm	0,29	20 cm	0,17
	1880 - 1948	oberste Geschoss- decke	Holzbalken- decke mit Blindboden u. Lehm Schlag		X	X		0,8		10 cm	0,27	20 cm	0,16
	1949 bis 1968	oberste Geschoss- decke	Betondecke Rippendecke Stahlblein- decke		X	X	X	2,1*		12 cm	0,29	30 cm	0,13
		Holzbalken- decke		X	X		0,8		10 cm	0,27	20 cm	0,16	
	1969 bis 1978	oberste Geschoss- decke	Betondecke mit 5 cm Dämmung oberseits		X	X	X	0,6		8 cm	0,27	16 cm	0,18
		Flachdach	Betondecke mit 6 cm Dämmung oberseits		X	X	X	0,5		8 cm	0,25	16 cm	0,17
		Fertighaus Holz- bauweise	Holzbalken- decke mit 4 cm Dämmung		X			0,8		10 cm	0,27	20 cm	0,16
	1979 bis 1983 1. WSchV	oberste Geschoss- decke	Betondecke mit 8 cm Dämmung oberseits		X	X		0,5		6 cm	0,29	16 cm	0,17
		Flachdach	Betondecke mit 8 cm Dämmung und Dachhaut			X	X	0,5		8 cm	0,25	16 cm	0,17
		Fertighaus Holz- bauweise	Holzbalken- decke mit 8 cm Dämmung		X			0,5		6 cm	0,29	16 cm	0,17
	1984 bis 1994 2. WSchV	oberste Geschoss- decke	Betondecke mit 12 cm Dämmung oberseits		X	X	X	0,3		—	—	10 cm	0,17
		Fertighaus Holz- bauweise	Holzbalken- decke mit 12 cm Dämmung		X			0,3		—	—	10 cm	0,17

Erläuterungen

EFH = Einfamilienhäuser / MFH = Mehrfamilienhäuser / GMH = große Mehrfamilienhäuser / HH = Hochhäuser

Die unter "Modernisierung" aufgeführten U-Werte dürfen nur angesetzt werden, wenn die angegebenen Dämmstoffstärken tatsächlich erreicht oder überschritten werden
Angaben der Dämmstärke beziehen sich auf Materialien der Wärmeleitgruppe WLG 040

*) Bei nachträglich angebrachten Dämmplatten mit mindestens 2 cm Stärke kann ein Pauschal-U-Wert von 1,0 W/(m²K) angesetzt werden.

Institut Wohnen und Umwelt - Dezember 2003

Tabelle 7:
Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten
von Dachschrägen

Baujahr	Urzustand					Modernisierung							
	Bauart Dachschrägen beheizter Dachgeschosse	typisches Vorkommen			Pauschal- U-Wert in W/(m²K)	nach EnEV § 8		auf Niedrigenergie- haus-Standard					
		EFH	MFH	GMH/HH		Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)	Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)				
Annahme: vorhandene Dämmschichten sind intakt und verbleiben in der Konstruktion; Innenausbau des Dachgeschosses unverändert													
Dachschrägen	bis 1948	Standard	Putz auf Schilfmatte oder Spallertellen		X	X		2,6*		zwischen und auf den Sparren insg. 16 cm	0,27	zwischen und auf den Sparren insg. 30 cm	0,14
		Lehmschlag	Strohlehm- wickel zw. den Sparren		X	X		1,3*		zwischen und auf den Sparren insg. 12 cm	0,27	zwischen und auf den Sparren insg. 20 cm	0,17
	1949 bis 1978	Standard	Holzfaser- platten 3,5 cm verputzt		X	X		1,4*		zwischen und auf den Sparren insg. 16 cm	0,26	zwischen und auf den Sparren insg. 30 cm	0,14
		Bims- vollsteine	Sonderfall: Zwischen- sparren- dämmung nicht mögl.		X	X		1,4*		auf den Sparren 12 cm	0,27	auf den Sparren 20 cm	0,18
		gringe Dämmung	5 cm Dämmung zwischen den Sparren		X	X	X	0,8		zwischen und auf den Sparren insg. 16 cm	0,24	zwischen und auf den Sparren insg. 30 cm	0,13
	1979 bis 1983 1. WSchV	Standard	8 cm Dämmung zwischen den Sparren		X	X		0,5		zwischen und auf den Sparren insg. 12 cm	0,29	zwischen und auf den Sparren insg. 30 cm	0,13
	1984 bis 1994 2. WSchV	Standard	12 cm zwischen den Sparren		X	X	X	0,4		zwischen oder auf den Sparren 5 cm	0,27	zwischen und auf den Sparren insg. 16 cm	0,15

Erläuterungen

EFH = Einfamilienhäuser / MFH = Mehrfamilienhäuser / GMH = große Mehrfamilienhäuser / HH = Hochhäuser

Die unter "Modernisierung" aufgeführten U-Werte dürfen nur angesetzt werden, wenn die angegebenen Dämmstoffstärken tatsächlich erreicht oder überschritten werden.
Angaben der Dämmstärke beziehen sich auf Materialien der Wärmeleitgruppe WLG 040

*) Bei nachträglich angebrachten Dämmplatten mit mindestens 2 cm Stärke kann ein Pauschal-U-Wert von 1,0 W/(m²K) angesetzt werden.

Institut Wohnen und Umwelt - Dezember 2003

Tabelle 8:
Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten
von Kellerdecken bzw. Erdgeschoss-Fußböden

Kellerdecken	Baujahr	Urzustand					Modernisierung						
		Bauart Erdgeschossfußböden über Erdreich oder unbeheizten Kellerräumen		typisches Vorkommen			Pauschal- U-Wert in W/(m²K)	nach EnEV § 8		auf Niedrigenergie- haus-Standard			
				EFH	MFH	GMH/HH		Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)	Dämm- stärke	U-Wert in W/(m²K)		
	bis 1918	Holz- balken- decke	Holzbalkendecke mit Strohlehm- wickel		X	X		1,0		6 cm	0,37	10 cm	0,26
		Steinboden	Steinboden auf Erdreich oder Gewölbekeller		X	X		2,9*		8 cm	0,38	12 cm	0,27
	1918 bis 1948	Holz- balken- decke	Holzbalken- decke mit Blindboden u. Lehmschlag		X	X		0,8		5 cm	0,37	8 cm	0,28
		Massiv- decke	Kuppen- gewölbe		X	X	X	1,2		6 cm	0,39	10 cm	0,27
	1949 bis 1968	Standard	Beton-, Rippen- oder Stahlstein- decke mit min. 10 Trittschalld.		X	X	X	1,5*		8 cm	0,34	10 cm	0,28
		Holzbalcken- decke			X	X		0,8		5 cm	0,37	8 cm	0,28
	1969 bis 1978	Standard	Betondecke mit 2 cm Trittschall- dämmung		X	X	X	1,0		6 cm	0,37	10 cm	0,26
	1979 bis 1983 2. WschV 1. WschV	Standard	Betondecke mit 4 cm Trittschall- dämmung		X	X	X	0,8		5 cm	0,37	8 cm	0,28
	1984 bis 1994 2. WschV	Standard	Betondecke mit 5 cm Trittschall- dämmung		X	X	X	0,6		3 cm	0,40	6 cm	0,30

Erläuterungen





EFH = Einfamilienhäuser / MFH = Mehrfamilienhäuser / GMH = große Mehrfamilienhäuser / HH = Hochhäuser

Die unter "Modernisierung" aufgeführten U-Werte dürfen nur angesetzt werden, wenn die angegebenen Dämmstoffstärken tatsächlich erreicht oder überschritten werden. Angaben der Dämmstärke beziehen sich auf Materialien der Wärmeleitgruppe WLG 035

*) Bei nachträglich angebrachten Dämmplatten mit mindestens 2 cm Stärke kann ein Pauschal-U-Wert von 1,0 W/(m²K) angesetzt werden.

Institut Wohnen und Umwelt - Dezember 2003

Tabelle 9:
Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten U_w
sowie für den Gesamtenergiedurchlassgrad g_L
von alten und neuen Fenstern

Verglasung	Bauart Rahmen	Wärmedurchgangs- koeffizient Gesamt-Fenster * U_w [W/(m²K)]	Gesamtenergie- durchlassgrad für senkrechten Strahlungseinfall g_L
 Einfach-Verglasung $U_g = 5,8 \text{ W/(m²K)}$	Holzrahmen	5,0	0,87
	Alu-Rahmen ohne thermische Trennung	4,3	0,75
 2-Scheiben-Isolierverglasung oder 2 einzelne Glasscheiben $U_g = 2,8 \text{ W/m²K}$	Alu-Rahmen mit thermischer Trennung	3,2	
	Kunststoff-Rahmen	3,0	
	Holzrahmen (Verbundfenster, Kastenfenster ...)	2,7	
 2-Scheiben-Wärmeschutz- Verglasung $U_g = 1,1 \text{ W/(m²K)}$	Kunststoff- oder Alu-Rahmen mit $U_f \leq 2 \text{ W/(m²K)}$	1,9	0,60
	Holzrahmen	1,6	
 3-Scheiben-Wärmeschutz- Verglasung $U_g = 0,7 \text{ W/(m²K)}$	verbesserter Holzrahmen ($U_f \leq 1,5 \text{ W/(m²K)}$)	1,2	0,50
	Passivhaus-Rahmen ($U_f \leq 0,8 \text{ W/(m²K)}$)	0,9	
Standardwert für den Abminderungsfaktor Rahmen F_P für Fenster im Gebäudebestand			0,6

U_g = U-Wert Verglasung (glazing) / U_f = U-Wert Rahmen (frame) / U_w = U-Wert Fenster inkl. Rahmen (window)
 *) inkl. Rahmen + Randverbund, ohne Einbau, bei Glasanteil 60% der Fensterfläche

Institut Wohnen und Umwelt - Dezember 2003

149

Anlage 6: Gradtage

Ort	September bis Mai			Juni bis Aug.		Jahresminimum*)	
	Heizt.	Mittl.	Gradt.	Heizt.	Gradt.	t_{20}	t_{10}
	z	Temp. °C	G_t	z	G_t	°C	°C
Berlin-Dahlem	252	4,9	3809	23	155	-12	-12
Bremen-Flughafen	256	5,6	3703	30	205	-10	-12
Düsseldorf	245	6,5	3300	22	139	-8	-10
Essen	249	6,1	3470	32	216	-9	-10
Frankfurt (Stadt)	242	6,0	3387	14	91	-10	-10
Hamburg-Flughafen	259	5,2	3837	35	241	-10	-12
Hannover-Flughafen	257	5,3	3782	32	216	-11	-14
Karlsruhe	242	5,9	3409	14	88	-10	-12
Stuttgart (Stadt)	244	6,0	3434	18	121	-11	-12
Kiel	262	5,5	3813	36	234	-8	-10
München-Flughafen	255	4,1	4046	30	219	-15	-16

150

¹⁴⁹ Dena Arbeitshilfe 2004, S. 22

¹⁵⁰ Recknagel; Sprenger; Schramek, S. 66

Anlage 7: Norminnentemperaturen

Raumart	ϑ_{int} [°C]
Wohn- und Schlafräume	+ 20
Bürräume, Sitzungszimmer, Ausstellungsräume, Haupttreppenräume, Schalterhallen	+ 20
Hotelzimmer	+ 20
Verkaufsräume und Läden allgemein	+ 20
Unterrichtsräume allgemein	+ 20
Theater- und Konzerträume	+ 20
Bade- und Duschräume, Bäder, Umkleieräume, Untersuchungszimmer (generell jede Nutzung für den unbedeckten Bereich)	+ 24
WC-Räume	+ 20
Beheizte Nebenräume (Flure, Treppenhäuser)	+ 15
Unbeheizte Nebenräume (Keller, Treppenhäuser, Abstellräume)	+ 10

151

Anlage 8: Normaußentemperaturen

1	Norderney -10°C W	6	Erfurt -14°C	11	Würzburg -12°C
2	Hamburg -12°C W	7	Essen -10°C	12	Mannheim -12°C
3	Rostock -10°C W	8	Kassel -12°C	13	Freiburg i.Br. -12°C
4	Potsdam -14°C	9	Chemnitz -14°C	14	München -16°C
5	Braunschweig -14°C W	10	Hof, Saale -18°C W	15	Garmisch-Partenkirchen -18°C

152

Anlage 9: Korrekturfaktoren für den Wärmeverlust an Bauteilen

Wärmeverlust	f_k
direkt nach außen	1,0
an einen unbeheizten Raum	0,8
an das Erdreich	0,4
über das Dach, aufgeständerte Bodenplatte	0,9
an ein angrenzendes Gebäude	0,5
an eine angrenzende Gebäudeeinheit	0,3

153

¹⁵¹ Burkhardt, Wolfgang; Kraus, Roland, S. 183

¹⁵² URL: <www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/heizlastberechnung_recknagel.pdf> verfügbar am 13.09.2011

¹⁵³ URL: <www.bk10-koeln.de/component/docman/doc_download/13-heizungstechnik-din-en-12831-vereinfachtes-verfahren> verfügbar am 13.09.2011

Anlage 10: Lüftungsgradstunden

Betriebszeit von 0.00 bis ...	Zulufttemperatur in °C					
	18	19	20	21	22	23
1.00	4 136	4 502	4 867	5 232	5 597	5 963
2.00	8 379	9 110	9 840	10 571	11 301	12 032
3.00	12 731	13 826	14 922	16 018	17 114	18 209
4.00	17 172	18 633	20 094	21 555	23 016	24 477
5.00	21 664	23 491	25 317	27 143	28 969	30 796
6.00	26 114	28 305	30 497	32 688	34 880	37 071
7.00	30 262	32 818	35 375	37 932	40 489	43 045
8.00	34 158	37 076	39 996	42 917	45 839	48 761
9.00	37 708	40 945	44 223	47 504	50 789	54 076
10.00	40 910	44 443	48 024	51 705	55 348	58 996
11.00	43 932	47 744	51 621	55 545	59 525	63 531
12.00	46 640	50 728	54 894	59 115	63 400	67 749
13.00	49 205	53 547	57 990	62 505	67 087	71 757
14.00	51 703	56 282	61 000	65 806	70 683	75 654
15.00	54 224	59 038	64 032	69 127	74 299	79 568
16.00	56 842	61 896	67 166	72 522	78 020	83 591
17.00	59 626	64 940	70 489	76 171	81 937	87 840
18.00	62 618	68 211	74 053	80 033	86 119	92 365
19.00	65 824	71 709	77 859	84 171	90 601	97 208
20.00	69 212	75 425	81 918	88 591	95 384	102 354
21.00	72 830	79 398	86 253	93 289	100 445	107 781
22.00	76 614	83 544	90 762	98 163	105 684	113 385
23.00	80 528	87 821	95 404	103 169	111 056	119 122
24.00	84 586	92 243	100 191	108 321	116 573	125 004

*) Berechnet nach DIN 4710:2003-01

154

Anlage 11: Aufwandszahl

Raumheizung				Einfamilienhäuser					Mehrfamilienhäuser					
Primärenergie (inkl. Hilfsenergie)				Heizwärmebedarf q_H [kWh/m²a]					Heizwärmebedarf q_H [kWh/m²a]					
				50	100	150	200	250	50	100	150	200	250	
Baualter Kessel				Primärenergie-Aufwandszahlen $\epsilon_{P,H}$										
Zentralheizungen	Wärmeschutz Rohrleitungen "mäßig"	Standardkessel	bis 1986	2,41	2,00	1,84	1,75	1,69	1,99	1,71	1,60	1,53	1,49	
			1987 - 1994	2,34	1,95	1,79	1,70	1,64	1,93	1,66	1,55	1,49	1,45	
			ab 1995	2,28	1,90	1,74	1,65	1,60	1,88	1,62	1,51	1,45	1,41	
		Niedertemperatur- kessel	bis 1986	2,25	1,86	1,71	1,62	1,57	1,93	1,67	1,55	1,49	1,45	
			1987 - 1994	2,15	1,78	1,63	1,55	1,50	1,85	1,59	1,49	1,42	1,39	
			ab 1995	2,06	1,70	1,56	1,48	1,43	1,79	1,53	1,43	1,37	1,33	
		Gas-Brennwert- kessel	bis 1994	1,99	1,64	1,50	1,42	1,38	1,72	1,48	1,38	1,32	1,29	
			ab 1995	1,96	1,61	1,48	1,40	1,35	1,71	1,47	1,37	1,31	1,27	
		Holz-Kessel		0,61	0,45	0,39	0,35	0,33	0,42	0,34	0,31	0,29	0,28	
		Elektro- Wärmepumpe	Außenluft	2,46	1,98	1,80	1,69	1,63	2,24	1,86	1,71	1,63	1,58	
			Erdreich	1,92	1,54	1,40	1,31	1,26	1,72	1,43	1,32	1,26	1,22	
		Fernwärme	ohne KWK	2,20	1,82	1,67	1,59	1,53	1,98	1,71	1,59	1,53	1,49	
			mit KWK	1,29	1,03	0,93	0,88	0,85	1,11	0,94	0,87	0,83	0,81	
		Wärmeschutz Rohrleitungen nach HeizAnIV	Standardkessel	bis 1986	1,99	1,75	1,66	1,61	1,58	1,64	1,50	1,45	1,42	1,40
				1987 - 1994	1,94	1,70	1,61	1,57	1,54	1,60	1,46	1,41	1,38	1,36
	ab 1995			1,89	1,66	1,57	1,52	1,49	1,55	1,42	1,37	1,34	1,32	
	Niedertemperatur- kessel		bis 1986	1,86	1,63	1,54	1,50	1,47	1,60	1,46	1,41	1,38	1,36	
			1987 - 1994	1,78	1,56	1,48	1,43	1,40	1,53	1,40	1,35	1,32	1,30	
			ab 1995	1,71	1,49	1,41	1,36	1,34	1,47	1,35	1,30	1,27	1,25	
	Gas-Brennwert- kessel		bis 1994	1,65	1,44	1,36	1,31	1,29	1,42	1,30	1,25	1,22	1,21	
			ab 1995	1,63	1,41	1,33	1,29	1,27	1,41	1,29	1,24	1,21	1,20	
	Holz-Kessel			0,53	0,40	0,35	0,33	0,32	0,36	0,30	0,28	0,27	0,26	
	Elektro- Wärmepumpe		Außenluft	2,07	1,74	1,63	1,56	1,53	1,88	1,64	1,56	1,51	1,48	
			Erdreich	1,62	1,36	1,26	1,21	1,18	1,44	1,27	1,20	1,17	1,15	
	Fernwärme	ohne KWK	1,82	1,59	1,51	1,46	1,44	1,63	1,50	1,44	1,41	1,40		
		mit KWK	1,08	0,91	0,85	0,81	0,79	0,92	0,82	0,79	0,77	0,76		
dezentrale Systeme	Strom-Direkt / Nachtsp.-Hzg.			3,06										
	Gas-Raumheizer			1,57										
	Öl-Ofen			1,64										
	Kohle-Ofen			1,76										
	Holz-Ofen			0,32										

Zwischenwerte können interpoliert werden.

Tabelle 12: Endenergie-Aufwandszahlen für die Warmwasserbereitung (ohne Hilfsenergie)

Warmwasserbereitung				ohne Solaranlage		mit Solaranlage	
Endenergie (Brennstoff, Fernwärme oder Strom) ohne Hilfsenergie				Ein-familien- häuser	Mehr- familien- häuser	Ein-familien- häuser	Mehr- familien- häuser
				Endenergie-Aufwandszahl $e_{E,W}$			
zentrale Systeme	Wärmeschutz Rohrleitungen "mäßig"	ohne Zirkulation	Standardkessel oder Holzkessel	3,18	-	1,59	-
			Niedertemperatur- oder Brennwertkessel	2,41	-	1,20	-
			Elektro-Wärmepumpe	0,88	-	0,44	-
			Fernwärme ohne KWK	1,59	-	0,79	-
			Fernwärme mit KWK	1,59	-	0,79	-
			zentraler Elektro-Speicher	1,53	-	0,76	-
		mit Zirkulation	Standardkessel oder Holzkessel	4,13	3,33	2,07	2,00
			Niedertemperatur- oder Brennwertkessel	3,13	2,95	1,56	1,77
			Elektro-Wärmepumpe	1,14	1,17	0,57	0,70
			Fernwärme ohne KWK	2,18	2,57	1,09	1,54
			Fernwärme mit KWK	2,18	2,57	1,09	1,54
			zentraler Elektro-Speicher	2,10	2,47	1,05	1,48
	Wärmeschutz Rohrleitungen nach HeizAnIV	ohne Zirkulation	Standardkessel oder Holzkessel	2,62	-	1,31	-
			Niedertemperatur- oder Brennwertkessel	1,98	-	0,99	-
			Elektro-Wärmepumpe	0,73	-	0,36	-
			Fernwärme ohne KWK	1,23	-	0,62	-
			Fernwärme mit KWK	1,23	-	0,62	-
			zentraler Elektro-Speicher	1,19	-	0,59	-
		mit Zirkulation	Standardkessel oder Holzkessel	2,78	1,90	1,39	1,14
			Niedertemperatur- oder Brennwertkessel	2,10	1,68	1,05	1,01
			Elektro-Wärmepumpe	0,77	0,67	0,38	0,40
			Fernwärme ohne KWK	1,33	1,44	0,67	0,86
			Fernwärme mit KWK	1,33	1,44	0,67	0,86
			zentraler Elektro-Speicher	1,28	1,38	0,64	0,83
dezentrale Systeme			Elektro-Kleinspeicher	1,41		-	
			Elektro-Durchlauferhitzer	1,24		-	
			Gas-Durchlauferhitzer	1,55		-	

Zwischenwerte können interpoliert werden.

Anlage 12: Gleichzeitigkeitsfaktor

Art der elektrischen Anlage oder des Gebäudes	Gleichzeitigkeitsfaktor
Büros und Verwaltung allgemein	
- Beleuchtung	0,8 bis 0,9
- Steckdosen	0,1 bis 0,6
- Klima, Lüftung	0,8 bis 1
- Heizung	0,8 bis 1
- Aufzüge	0,5 bis 0,9
- Kücheneinrichtung	0,5 bis 0,6
kleine Büros	0,5 bis 0,7
große Büros (Banken/Versicherungen/öffentliche Verwaltung)	0,7 bis 0,8

156

¹⁵⁶ Müller, Egon; Engelmann, Jörg; Löffler, Thomas; Strauch, Jörg, S. 163

Anlage 13: Kühlgradstunden

Betriebszeit von 0.00 bis ...	Zulufttemperatur in °C		
	14	16	18
1.00	52	1	0
2.00	76	1	0
3.00	83	1	0
4.00	85	1	0
5.00	86	1	0
6.00	95	1	0
7.00	189	2	0
8.00	453	92	7
9.00	883	315	80
10.00	1 507	671	251
11.00	2 294	1 166	518
12.00	3 203	1 772	861
13.00	4 205	2 463	1 276
14.00	5 273	3 215	1 750
15.00	6 352	3 982	2 238
16.00	7 407	4 727	2 708
17.00	8 373	5 390	3 111
18.00	9 195	5 931	3 413
19.00	9 818	6 316	3 611
20.00	10 237	6 534	3 681
21.00	10 521	6 641	3 698
22.00	10 725	6 689	3 703
23.00	10 871	6 713	3 706
24.00	10 972	6 722	3 708

*) Berechnet nach DIN 4710:2003-01

157

7. Literaturverzeichnis

- [1] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, Einband
- [2] Preuß Norbert, Real Estate und Facility Management – Aus Sicht der Consultingpraxis, Springer Verlag, 2009 S. 478
- [3] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 6
- [4] Lehnhoff Sebastian, Dezentrales vernetztes Energiemanagement, Verlag VIEWEG + TEUBNER, Auflage 2010, S. 1-2
- [5] URL< [www.enev-online.de /enev/index.htm](http://www.enev-online.de/enev/index.htm)> verfügbar am 12.08.2011
- [6] Vortragsreihe Energiemanagement Teil 1, Hochschule Mittweida, 16. Oktober 2009, Matthias Müller
- [7] Zeitschrift: Facility Management, Ausgabe 3 Mai/ Juni 2011, „Immer mehr Kunden erwarten nachhaltige Dienstleistungen“ S. 32-33
- [8] Zeitschrift Facility Management, Ausgabe 3 Mai/Juni 2011, „ Immer mehr Kunden erwarten nachhaltige Dienstleistungen“ S. 32-33
- [9] Weatherly, John N, Handbuch, Systematisches Management, Eine Einleitung für Praktiker, Medizinisch wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Auflage 2009, S. 1-2
- [10] Krimmling Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 1-2
- [11] GEFMA 100-1 FM
- [12] Nävy, Jens, Facility Management, Grundlagen Computerunterstützung Systemeinführung Anwendungsbeispiele, Springer Verlag, 4. Auflage 2006, S. 2
- [13] Nävy, Jens, Facility Management, Grundlagen Computerunterstützung Systemeinführung Anwendungsbeispiele, Springer Verlag, 4. Auflage 2006, S. 3
- [14] Nävy, Jens, Facility Management, Grundlagen Computerunterstützung Systemeinführung Anwendungsbeispiele, Springer Verlag, 4. Auflage 2006, S. 4
- [15] [GEFMA 124]
- [16] Vortragsreihe Energiemanagement Teil 1, Hochschule Mittweida, 16. Oktober 2009, Matthias Müller
- [17] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S 6
- [18] GEFMA 124-3 S. 4
- [19] Bestehende Verträge der Unternehmensgruppe Gegenbauer
- [20] Najork, Eike N. Rechtshandbuch Facility Management, Springer Verlag, 2009, S 70
- [21] Nävy, Jens, Facility Management, Grundlagen Computerunterstützung Systemeinführung Anwendungsbeispiele, Springer Verlag, 4. Auflage 2006, S. 331
- [22] Bestehende Verträge der Unternehmensgruppe Gegenbauer

- [23] Braun, Hans-Peter; J. Pütter Facility Management: Erfolg in der Immobilienbewirtschaftung, Springer Verlag, Auflage 5, 2007, S. 123
- [24] Kiener ; Scheubeck; Obermaier; Weiß; Produktionsmanagement, 9. Auflage, Oldenburg Verlag, 2009, S. 16
- [25] Energy Technology Perspectives, Szenarien & Strategien bis 2050, OECD, 2006, S. 9
- [26] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 19
- [27] DIN V 18599-1:2007-02, S. 12
- [28] Zwischenbericht ARGE Benchmark Seite 9-12
- [29] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 19-21
- [30] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 21
- [31] DIN 1943-2 VDI, Lüftungsregeln
- [32] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 21
- [33] Nävy, Jens, Facility Management, Grundlagen Computerunterstützung Systemeinführung Anwendungsbeispiele, Springer Verlag, 4. Auflage 2006, S. 337
- [34] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 21-22
- [35] GEFMA 124-1, Seite 8
- [36] Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden, BBSR-Online-Publikation, Nr. 09/2009, S. 36
- [37] Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden, BBSR-Online-Publikation, Nr. 09/2009, S. 3
- [38] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 22-23
- [39] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 22-23
- [40] VDI 2067
- [41] URL: www.dwd.de/gradtagzahlen verfügbar am 11.09.2011
- [42] Krimmling Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 106
- [43] GEFMA 100-2 Anhang B, S. 17
- [44] Krimmling Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 109
- [45] GEFMA 124-1, Seite 8
- [46] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 23-24

- [47] Krimmling Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 109
- [48] GEFMA 124-1 Seite 1
- [49] Krimmling Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 113-114
- [50] May, Michael, IT im Facility Management erfolgreich einsetzen: das CAFM-Handbuch, Springer Verlag, 2. Auflage, S. 5-6
- [51] May, Michael, IT im Facility Management erfolgreich einsetzen: das CAFM-Handbuch, Springer Verlag, 2. Auflage, S. 32-33
- [52] GEFMA 124-1, Seite 4
- [53] GEFMA 124-2, Seite 11-12
- [54] GEFMA 124-2, Seite 12
- [55] Musterbauordnung § 1, Nr. 3
- [56] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 23-24
- [57] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 28
- [58] URL:<<http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/waermedaemmung-hausbau/waermedaemmung-k-wert.html>> verfügbar am 02.08.2011
- [59] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 83-84
- [60] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 84-86
- [61] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 86-87
- [62] Volker Drusche, Synergi-Energie: energieoptimiert, ressourcenschonend, schadstoffarm, kostenreduziert, Oldenburg Industirverlag, 2004, S. 207-208
- [63] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 88
- [64] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 90
- [65] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 90
- [66] URL:<www.diy4you.de/basics/diy_lexikon/k/lexikon_begriff/kreuzstromwaermetauscher.html> verfügbar am 07.08.2011
- [67] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 89
- [68] URL:<www.diy4you.de/basics/diy_lexikon/k/lexikon_begriff/kreuzstromwaermetauscher.html> verfügbar am 07.08.2011
- [69] Kals, Johannes, Betriebliches Energiemanagement, Kohlhammer Verlag, 2010, S. 89
- [70] Cordon Butz, Diplom Arbeit, Energie-Contracting aus der Perspektive der Prinzipal-Agenten-Theorie, 2008, S. 8
- [71] DIN 18599 Beiblatt 1, S. 13
- [72] DIN 18599 Beiblatt 1, S. 14
- [73] DIN 18599 Beiblatt 1, S.14

- [74] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 86
- [75] URL: <http://www.ikz.de/tool-des-monats/single-view/article/viessmann-planungstool-erleichtert-die-auslegung-e.html> verfügbar am 07.08.2011
- [76] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 86-87
- [77] DIN 18599 Blatt 1, S. 15
- [78] DIN V 18599-5, Gebäudedimensionierung Anhang B
- [79] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 90
- [80] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, vom 30 Juli 2009, S. 14-15
- [81] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 90
- [82] Joos, Lajos, Energieeinsparung in Gebäuden, 2. Auflage, Vulkan-Verlag GmbH, S. 68
- [83] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 90-91
- [84] DIN 18599-10 Seite 25-26
- [85] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 92
- [86] URL:http://www.energieberaterkurs.de/export/sites/default/de/Dateien_Kennwerte/kennwerte_luftwechsel.pdf verfügbar am 12.08.2011
- [87] Laasch, Thomas; Laasch Erhard, Haustechnik, Grundlagen-Planung-Ausführung, Verlag Vieweg + Teubner, Auflage 12, S. 53
- [88] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 94
- [89] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 95
- [90] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 95 und Krimmling Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 206
- [91] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 96
- [92] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 97
- [93] Lohmeyer; Bergmann; Post, Praktische Bauphysik: eine Einführung mit Berechnungsbeispielen, Teubner Verlag, 2005, 5. Auflage, S. 41

- [94] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 212-213
- [95] Hauff; Musielack, Das große Verwalterhandbuch, Rudolf Haufe Verlag, Auflage 2007, S. 208
- [96] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 99
- [97] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 100
- [98] Recknagel; Sprenger; Schramek, Taschenbuch für Heizung Klima Technik, Ausgabe 2009-2010, S. 69
- [99] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 213
- [100] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 213
- [101] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 221-222
- [102] URL: <<http://www.vde-verlag.de/buecher/leseprobe/lese2867.pdf>> verfügbar am 25.08.2011
- [103] Laasch, E; Volger, K., Haustechnik. Grundlagen – Planung – Ausführung, 8. neubearbeitet Auflage, Stuttgart: B.G. Teubner 1989, S. 293
- [104] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 222
- [105] Eigene Erkenntnis durch Praxisanwendung.
- [106] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 216
- [107] Laasch, E., Volger, K., Haustechnik. Grundlagen – Planung – Ausführung, 8. neubearbeitet Auflage, Stuttgart: B.G. Teubner 1989, S. 427
- [108] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 103
- [109] URL: <<https://www.uni-hohenheim.de/i410a/etcompuzinsform/zinsform.htm>>, verfügbar am 11.09.2011
- [110] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 57
- [111] Huch, Burkhard; Behme, Wolfgang; Ohlendorf, Thomas; Rechnungswesen orientiertes Controlling; Physica Verlag, 2004, S. 127
- [112] URL:<<http://www.general-anzeiger-bonn.de/freizeitguide/Langer-Eugen-/frei/10212/286>> 13.08.2011
- [113] Energieverbrauchsausweis vom 18.06.2010, erstellt durch BLB NRW, Niederlassung Aachen
- [114] ¹ Vertrag zwischen Gegenbauer und Bundesanstalt für Immobilienaufgaben vom 01.02.2011
- [115] Erfassung aus Zählerlisten und Rechnungen der vergangenen 3 Jahre
- [116] Aussage des Kantinenchefs, Herr Bathi am 15.08.2011

- [117] URL: <arch-m.de/info/klimafaktor.html> verfügbar am 26.07.2011
- [118] Aussagen Facility Manager; Firma Gegenbauer; Herr Siemoneit am 31.08.2011
- [119] Modernisierungsplanung der Firma Scholze Ingenieurgesellschaft mbH vom 05.06.2003
- [120] Modernisierungsplanung der Firma Scholze Ingenieurgesellschaft mbH vom 05.06.2003
- [121] Recknagel; Sprenger; Schramek; Taschenbuch für Heizung Klima Technik; Ausgabe 2009-2010, S. 1182
- [122] Aussagen Facility Manager; Firma Gegenbauer; Herr Siemoneit am 11.08.2011
- [123] URL:<http://www.ihks-fachjournal.de/files/FJ_PDF/online/Energieeinsparung-in-der-Klimatechnik.pdf> verfügbar am 02.09.11
- [124] Technische Daten der Klimageräte Superchiller SLH, Planungsunterlagen der Modernisierung 2006
- [125] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 221
- [126] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 222
- [127] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 107
- [128] Magazin, Kälte Klima aktuell, Ausgabe 03/2010 Technik, Effizienz von Kälteanlagen verfügbar am 05.09.2011
- [129] URL: <<http://www.carrier.de/dasat/index.php?cid=100341&conid=101124>> verfügbar am 11.09.2011
- [130] Magazin, Kälte Klima aktuell, Ausgabe 03/2010 Technik, Effizienz von Kälteanlagen verfügbar am 05.09.2011
- [131] Investitionskosten: Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 116 und Recknagel; Sprenger; Schramek, Taschenbuch für Heizung Klima Technik, Oldenburg Verlag Ausgabe 2009-2010, S. 1644
- [132] URL:<http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/Vortraege/Plenum_3/004_-_Wirtschaftlichkeit_-_Eichener.pdf> verfügbar am 05.09.2011
- [133] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 109
- [134] Krimmling, Jörn, Facility Management, Strukturen und methodische Instrumente, Fraunhofer IRB Verlag, 2008,S. 109-110
- [135] Magazin, Kälte Klima aktuell, Ausgabe 03/2010 Technik, Effizienz von Kälteanlagen verfügbar am 05.09.2011
- [136] Erekennntnis durch Begehung der Lufttechnischen Anlagen am 15.08.2011
- [137] Esser, Bernd, Erzielung nachhaltig hoher Büroimmobilienwerte, Gabler Verlag, 2009, S. 56
- [138] Junghans, Antje, Bewertung und Steigerung der Energieeffizienz kommunaler Bestandsgebäude, Gabler Verlag, 1. Auflage, 2009, S. 149-150

- [139] Althaus, Roland, Diplomarbeit: State-of-the-Art Energiemanagement in der Praxis, Zusammenfassung
- [140] DIN 18599-Beiblatt 1, Tabelle 2, S. 14
- [141] DIN 18599-10, Tabelle 4
- [142] DIN 18599-10, Tabelle 6
- [143] Regeln für Energieverbrauchskennwerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 30.07.2009, S. 20
- [144] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 17
- [145] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 18
- [146] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 19
- [147] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 20
- [148] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 21
- [149] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 22
- [150] Recknagel; Sprenger; Schramek, Taschenbuch für Heizung Klima Technik, Oldenburg Industrie-verlag, Ausgabe 2009-2010, S. 66
- [151] Burkhardt, Wolfgang; Kraus, Roland, Projektierung von Warmwasserheizungen, 7. Auflage, Oldenburg Industrie-verlag, 2006, S. 183
- [152] URL: < www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/heizlastberechnung_recknagel.pdf > verfügbar am 13.09.2011
- [153] URL: < www.bk10-koeln.de/component/docman/doc_download/13-heizungstechnik-din-en-12831-vereinfachtes-verfahren > verfügbar am 13.09.2011
- [154] Recknagel; Sprenger; Schramek, Taschenbuch für Heizung Klima Technik, Oldenburg Industrie-verlag, Ausgabe 2009-2010, S. 69
- [155] Dena Arbeitshilfe 2004, S. 26
- [156] Müller, Egon; Engelmann, Jörg; Löffler, Thomas; Strauch, Jörg, Energieeffiziente Fabriken planen und Betreiben, Springer Verlag, 2009, S. 163
- [157] Recknagel; Sprenger; Schramek, S. 70

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich den vorliegenden Text selbst verfasst habe, dass ich außer den angegebenen Quellen keine anderen benutzt habe, dass jede Quelle gekennzeichnet ist, und dass ich diese Arbeit an keiner anderen Stelle eingereicht habe.

Bad Lausick, den 15.09.2011

Unterschrift